



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIONES**  
**PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR A**  
**TRAVÉS DE MÓDULOS USRP**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTOR:** BRAYANN OSMANY SARAGURO SARANGO

**TUTOR:** DR. HUGO OSWALDO MORENO AVILÉS, PhD.

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Brayann Osmany Saraguro Sarango

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El Tribunal de Titulación certifica que el proyecto técnico: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIONES PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR A TRAVÉS DE MÓDULOS USRP, de responsabilidad del señor Brayann Osmany Saraguro Sarango, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación:

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay Ph.D <b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Franklin Moreno <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES</b>	_____	_____
Dr. Hugo Moreno Ph.D <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. William Calvopiña <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
<b>DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH</b>	_____	_____

Yo, Brayann Osmany Saraguro Sarango soy responsable de las ideas, métodos, y resultados expuestos en esta investigación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Brayann Osmany Saraguro Sarango



## **DEDICATORIA**

A todas las personas que formaron parte de mi ciclo estudiantil; tales como mis maestros que fueron una guía intelectual para avanzar todos los días, a mi Familia por ser mi compañía en todos y cada uno de mis momentos, a mis amigos y compañeros por demostrar su apoyo en las diversas situaciones y en general a los ciudadanos de Riobamba puesto que esta localidad me abrió las puertas para poder alcanzar un proyecto más de vida.

Brayann

## **AGRADECIMIENTO**

Un gran agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de formarme durante 5 años con el fin de ser un nuevo profesional al servicio del País.

A cada miembro de mi Familia puesto su soporte ha sido transcendental para desarrollar esta experiencia.

Brayann

## RESUMEN

La implementación de un sistema de transmisiones para televisión digital terrestre en el Ecuador, pretende establecer un precedente que fomente el uso de radios reprogramables para el diseño de sistemas de comunicaciones; fue desarrollado en los Laboratorios del Edificio de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH. Con el uso del Software GNU Radio Companion en un ordenador, son diseñados los escenarios de los sistemas en dos ambientes principales que son: modulación por desplazamiento diferencial de cuadratura (DQPSK), y modulación por desplazamiento de cuadratura (QPSK); y se analiza el comportamiento del sistema en tiempo y frecuencia al realizar una conexión cableada directa y una conexión usando antenas logarítmicas en los terminales del primer canal del Software Universal de Radio Periférico (USRP). Cuando se realizaron las pruebas se obtuvo una tasa de errores de bit del 2%, y un ancho de banda de 600KHz además se comprobó que la calidad de audio y video fueron buenas. Finalmente se comprueba que el uso conjunto de software GNU Radio Companion y el hardware USRP puede ser empleados para el desarrollo de la televisión digital en tiempo real. Se recomienda a la comunidad politécnica que se debe continuar investigando sobre el uso de radios reprogramables, puesto que estos equipos son muy flexibles al momento de implementar sistemas de comunicaciones actuales; la implementación realizada debe seguir siendo mejorada hasta garantizar que se pueda emplear en las estaciones televisivas públicas.

Palabras Claves: <TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE>, <SOFTWARE GNU RADIO COMPANION>, <HARDWARE USRP>, <SISTEMAS DE TRANSMISIÓN>, <TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS>

## SUMMARY

The implementation of a System to Broadcast Digital Terrestrial Televisión in Ecuador aims to establish a precedent that encourages the use of reprogrammable radios to design communications systems, it was developed at Laboratories Building of Computer Science and Electronics Faculty, ESPOCH. It uses the GNU Radio Companion Software on a computer. They are design systems scenarios in two main environments such as: Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK) Modulated and Quadrature Phase Shift Keying (QPSK); and System behavior in time and frequency to make a direct wired connection and a connection using logarithmic antennas at the terminals of the first channel of the Universal Software Radio Peripheral (USRP) is analyzed. When the tests were conducted a rate bit error of 2%, and a bandwidth of 600 kHz were obtained. In addition it was found that the quality of audio and video were good. Finally it is found that the set GNU Radio Companion software and USRP hardware can be used for the development of digital televisión in real time. It is recommended that the polytechnic community should continue research on the use of reprogrammable radios, since these teams are very flexible when implementing existing communications systems. Implementation done must remain improved to ensure that they can be used in public television stations.

Keywords: <TERRESTRIAL DIGITAL TELEVISION>, <SOFTWARE GNU RADIO COMPANION>, <HARDWARE USRP>, <TRANSMISSION SYSTEMS>, <TELECOMMUNICATIONS AND SYSTEMS>

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
SUMARY.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
MARCO TEÓRICO	
1.1. Televisión Digital Terrestre.....	4
1.1.1. Definición.....	4
1.1.2. Alcance Actual de la TDT en el Ecuador.....	5
1.1.3. Beneficios de la TDT.....	5
1.2. Estándar ISDBT.....	5
1.2.1. Historia y Definición.....	5
1.2.2. Adopción del Estándar por parte del Estado Ecuatoriano.....	6
1.2.3. Características Técnicas del Estándar ISDBT.....	6
1.3. Sistema de Transmisión Digital.....	15
1.3.1. Sistema Transmisor.....	15
1.3.2. Sistema Receptor.....	15
1.3.3. Diagrama de Bloques.....	15
1.3.4. Operación del Sistema.....	16
1.4. Plataforma SDR.....	18
1.4.1. Definición.....	19
1.4.2. Prestaciones de la Plataforma.....	20
1.5. Módulo USRP B210.....	20
1.5.1. Definición.....	20
1.5.2. Estructura Módulo USRP.....	21

1.5.3.	<i>Aplicaciones</i> .....	21
1.6.	<b>S.O. Linux Mint</b> .....	22
1.6.1.	<i>Características del S.O</i> .....	22
1.7.	<b>GNU Radio Companion</b> .....	23
1.7.1.	<i>Ambiente de Desarrollo</i> .....	23
1.7.2.	<i>Bloques de Operación</i> .....	23

## **CAPITULO 2**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIONES PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR A TRAVÉS DE MÓDULOS USRP**

2.1.	<b>Estructura Lógica del Sistema de Transmisiones</b> .....	26
2.1.1.	<i>Diagrama de Bloques del Transmisor</i> .....	26
2.1.2.	<i>Diagrama de Bloques del Receptor</i> .....	27
2.2.	<b>Estructura Física del Sistema de Transmisiones</b> .....	27
2.2.1.	<i>Conexión del Módulo USRP hacia el Ordenador</i> .....	27
2.3.	<b>Diseño de Bloques del Sistema Transmisor en GNU Radio Companion</b> .....	33
2.3.1.	<i>Diagrama de Bloques</i> .....	33
2.3.2.	<i>Montaje del Diseño del Transmisor al USRP</i> .....	35
2.4.	<b>Diseño de Bloques del Sistema Receptor en GNU Radio Companion</b> .....	35
2.4.1.	<i>Diagrama de Bloques</i> .....	35
2.4.2.	<i>Montaje del Diseño del Receptor en GNU Radio Companion</i> .....	37

## **CAPITULO 3**

### **PRUEBAS DEL SISTEMA Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS**.....38

3.1.	<b>Pruebas de Transmisión y Recepción</b> .....	38
3.1.1.	<i>Transmisión / Recepción DQPSK a 300 MHz, conexión directa</i> .....	38
3.1.2.	<i>Transmisión / Recepción DQPSK a 400 MHz, conexión directa</i> .....	40
3.1.3.	<i>Transmisión / Recepción DQPSK a 500 MHz, conexión directa</i> .....	42

3.1.4. Transmisión / Recepción DQPSK a 600 MHz, conexión directa.....	44
3.1.5. Transmisión / Recepción DQPSK a 700 MHz, conexión directa.....	46
3.1.6. Transmisión / Recepción DQPSK a 800 MHz, conexión directa.....	48
3.1.7. Transmisión / Recepción DQPSK a 900 MHz, conexión directa.....	50
3.1.8. Transmisión / Recepción DQPSK a 950 MHz, conexión directa.....	52
3.1.9. Transmisión / Recepción DQPSK a 1 GHz, conexión directa.....	54
3.1.10. Transmisión / Recepción DQPSK a 1.2 GHz, conexión directa.....	56
3.1.11. Transmisión / Recepción QPSK a 300 MHz, conexión directa.....	58
3.1.12. Transmisión / Recepción QPSK a 400 MHz, conexión directa.....	60
3.1.13. Transmisión / Recepción QPSK a 500 MHz, conexión directa.....	62
3.1.14. Transmisión / Recepción QPSK a 600 MHz, conexión directa.....	64
3.1.15. Transmisión / Recepción QPSK a 700 MHz, conexión directa.....	66
3.1.16. Transmisión / Recepción QPSK a 800 MHz, conexión directa.....	68
3.1.17. Transmisión / Recepción QPSK a 900 MHz, conexión directa.....	70
3.1.18. Transmisión / Recepción QPSK a 950 MHz, conexión directa.....	72
3.1.19. Transmisión / Recepción QPSK a 1 GHz, conexión directa.....	74
3.1.20. Transmisión / Recepción QPSK a 1.2 GHz, conexión directa.....	76
3.1.21. Transmisión / Recepción DQPSK a 300 MHz, espacio libre.....	78
3.1.22. Transmisión / Recepción DQPSK a 400 MHz, espacio libre.....	79
3.1.23. Transmisión / Recepción DQPSK a 500 MHz, espacio libre.....	80
3.1.24. Transmisión / Recepción DQPSK a 600 MHz, espacio libre.....	81
3.1.25. Transmisión / Recepción DQPSK a 700 MHz, espacio libre.....	82
3.1.26. Transmisión / Recepción DQPSK a 800 MHz, espacio libre.....	83
3.1.27. Transmisión / Recepción DQPSK a 900 MHz, espacio libre.....	83
3.1.28. Transmisión / Recepción DQPSK a 950 MHz, espacio libre.....	84
3.1.29. Transmisión / Recepción DQPSK a 1 GHz, espacio libre.....	85

3.1.30. Transmisión / Recepción DQPSK a 1.2 GHz, espacio libre .....	86
3.1.31. Transmisión / Recepción QPSK a 300 MHz, espacio libre .....	86
3.1.32. Transmisión / Recepción QPSK a 400 MHz, espacio libre .....	87
3.1.33. Transmisión / Recepción QPSK a 500 MHz, espacio libre .....	88
3.1.34. Transmisión / Recepción QPSK a 600 MHz, espacio libre .....	89
3.1.35. Transmisión / Recepción QPSK a 700 MHz, espacio libre .....	89
3.1.36. Transmisión / Recepción QPSK a 800 MHz, espacio libre .....	90
3.1.37. Transmisión / Recepción QPSK a 900 MHz, espacio libre .....	91
3.1.38. Transmisión / Recepción QPSK a 950 MHz, espacio libre .....	92
3.1.39. Transmisión / Recepción QPSK a 1 GHz, espacio libre .....	92
3.1.40. Transmisión / Recepción QPSK a 1.2 GHz, espacio libre .....	93
3.2. Análisis y Síntesis de Resultados .....	94
CONCLUSIONES .....	97
RECOMENDACIONES .....	99
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Ajuste del valor de atraso requerido, como resultado del entrelazamiento de byte.....	9
<b>Tabla 1-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 300 MHz.....	38
<b>Tabla 2-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 400 MHz.....	40
<b>Tabla 3-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 500 MHz.....	42
<b>Tabla 4-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 600 MHz.....	44
<b>Tabla 5-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 700 MHz.....	46
<b>Tabla 6-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 800 MHz.....	48
<b>Tabla 7-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 900 MHz.....	50
<b>Tabla 8-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 950 MHz.....	52
<b>Tabla 9-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 1 GHz.....	54
<b>Tabla 10-3.</b>	Parámetros de operación sistema DQPSK a 1.2 GHz.....	56
<b>Tabla 11-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 300 MHz.....	58
<b>Tabla 12-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 400 MHz.....	60
<b>Tabla 13-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 500 MHz.....	62
<b>Tabla 14-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 600 MHz.....	64
<b>Tabla 15-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 700 MHz.....	66
<b>Tabla 16-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 800 MHz.....	68
<b>Tabla 17-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 900 MHz.....	70
<b>Tabla 18-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 950 MHz.....	72
<b>Tabla 19-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 1 GHz.....	74
<b>Tabla 20-3.</b>	Parámetros de operación sistema QPSK a 1.2 GHz.....	76
<b>Tabla 21-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 300 MHz en espacio libre.....	79
<b>Tabla 22-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 400 MHz en espacio libre.....	79
<b>Tabla 23-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 500 MHz en espacio libre.....	80

<b>Tabla 24-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 600 MHz en espacio libre.....	81
<b>Tabla 25-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 700 MHz en espacio libre.....	82
<b>Tabla 26-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 800 MHz en espacio libre.....	83
<b>Tabla 27-4.</b>	Operación sistema DQPSK a 900 MHz en espacio libre.....	83
<b>Tabla 28-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 950 MHz en espacio libre.....	84
<b>Tabla 29-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 1 GHz en espacio libre.....	85
<b>Tabla 30-3.</b>	Operación sistema DQPSK a 1.2 GHz en espacio libre.....	86
<b>Tabla 31-3.</b>	Operación sistema QPSK a 300 MHz en espacio libre.....	86
<b>Tabla 32-3.</b>	Operación sistema QPSK a 400 MHz en espacio libre.....	87
<b>Tabla 33-3.</b>	Operación sistema QPSK a 500 MHz en espacio libre.....	88
<b>Tabla 34-3.</b>	Operación sistema QPSK a 600 MHz en espacio libre.....	89
<b>Tabla 35-3.</b>	Operación sistema QPSK a 700 MHz en espacio libre.....	89
<b>Tabla 36-3.</b>	Operación sistema QPSK a 800 MHz en espacio libre.....	90
<b>Tabla 37-3.</b>	Operación sistema QPSK a 900 MHz en espacio libre.....	91
<b>Tabla 38-3.</b>	Operación sistema QPSK a 950 MHz en espacio libre.....	92
<b>Tabla 39-3.</b>	Operación sistema QPSK a 1 GHz en espacio libre.....	92
<b>Tabla 40-3.</b>	Operación sistema QPSK a 1.2 GHz en espacio libre.....	93
<b>Tabla 41-3.</b>	Modulación DQPSK en medio no guiado.....	94
<b>Tabla 42-3.</b>	Modulación QPSK en medio no guiado.....	95
<b>Tabla 43-3.</b>	Modulación DQPSK en medio guiado.....	95
<b>Tabla 44-3.</b>	Modulación QPSK en medio guiado.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Televisión Digital Terrestre.....	4
<b>Figura 2-1.</b>	Multiplexación de Información.....	7
<b>Figura 3-1.</b>	Codificación Reed Solomon.....	7
<b>Figura 4-1.</b>	División del TS en dos capas jerárquicas.....	8
<b>Figura 5-1.</b>	Dispensor de Energía.....	8
<b>Figura 6-1.</b>	Circuito de byte interleaving.....	9
<b>Figura 7-1.</b>	Circuito de Codificación Convolucional.....	10
<b>Figura 8-1.</b>	Constelación DQPSK con desplazamiento $\pi/4$ .....	10
<b>Figura 9-1.</b>	Constelación QPSK.....	11
<b>Figura 10-1.</b>	Diagrama Fasorial 16QAM.....	11
<b>Figura 11-1.</b>	Constelación 64QAM.....	12
<b>Figura 12-1.</b>	Configuración del Combinador de capas.....	12
<b>Figura 13-1.</b>	Efecto del Time Interleave.....	13
<b>Figura 14-1.</b>	Rotación de Portadores.....	13
<b>Figura 15-1.</b>	Configuración del Sistema OFDM para modulación diferencial.....	14
<b>Figura 16-1.</b>	Diagrama de Bloques de un Sistema de Transmisiones Digital.....	16
<b>Figura 17-1.</b>	Constelación del Transmisor OFDM.....	17
<b>Figura 18-1.</b>	Datos en el Receptor OFDM.....	17
<b>Figura 19-1.</b>	Espectro de la Señal Emitida.....	18
<b>Figura 20-1.</b>	Tasa de Error de bit del Sistema.....	18
<b>Figura 21-1.</b>	Arquitectura Funcional Generalizada de SDR.....	19
<b>Figura 22-1.</b>	Estructura del USRP B210.....	21
<b>Figura 23-1.</b>	Ventana S.O. Linux Mint.....	22
<b>Figura 24-1.</b>	Scrambler y Descrambler.....	23

<b>Figura 25-1.</b> FFT.....	24
<b>Figura 26-1.</b> Moduladores / Demoduladores.....	24
<b>Figura 27-1.</b> Operadores de Stream.....	24
<b>Figura 28-1.</b> Transmisión y Recepción UDP.....	24
<b>Figura 29-1.</b> Transmisión y Recepción UHD.....	25
<b>Figura 30-1.</b> Generadores de Señales.....	25
<b>Figura 31-1.</b> Analizadores de Señales.....	25
<b>Figura 1-2.</b> Diagrama de Bloques, Sistema Transmisor.....	26
<b>Figura 2-2.</b> Diagrama de Bloques, Sistema Receptor.....	27
<b>Figura 3-2.</b> Conexión USRP – Notebook.....	28
<b>Figura 4-2.</b> Antenas Log Periodic, Cable USB, Cables ASSY.....	28
<b>Figura 5-2.</b> USRP B210.....	30
<b>Figura 6-2.</b> Firmware de USRP.....	31
<b>Figura 7-2.</b> Terminales A, TX/RX y RX2.....	31
<b>Figura 8-2.</b> Ejecución de la Aplicación.....	32
<b>Figura 9-2.</b> USRP Transmisor/Receptor.....	32
<b>Figura 10-2.</b> USRP Transmisor/Receptor en ejecución.....	33
<b>Figura 11-2.</b> Transmisor DQPSK.....	34
<b>Figura 12-2.</b> Transmisor QPSK.....	34
<b>Figura 13-2.</b> Estado de Transmisión.....	35
<b>Figura 14-2.</b> Receptor DQPSK.....	36
<b>Figura 15-2.</b> Receptor QPSK.....	36
<b>Figura 16-2.</b> Estado de Recepción.....	37
<b>Figura 1-3.</b> Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 300 MHz.....	39
<b>Figura 2-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 300 MHz.....	39
<b>Figura 3-3.</b> Bit Error Rate (BER), DQPSK a 300 MHz.....	40

<b>Figura 4-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 300 MHz.....	40
<b>Figura 5-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 400 MHz.....	41
<b>Figura 6-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 400 MHz.....	41
<b>Figura 7-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 400 MHz.....	42
<b>Figura 8-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 400 MHz.....	42
<b>Figura 9-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 500 MHz.....	43
<b>Figura 10-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 500 MHz.....	43
<b>Figura 11-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 500 MHz.....	44
<b>Figura 12-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 500 MHz.....	44
<b>Figura 13-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 600 MHz.....	45
<b>Figura 14-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 600 MHz.....	45
<b>Figura 15-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 600 MHz.....	46
<b>Figura 16-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 600 MHz.....	46
<b>Figura 17-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 700 MHz.....	47
<b>Figura 18-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 700 MHz.....	47
<b>Figura 19-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 700 MHz.....	48
<b>Figura 20-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 700 MHz.....	48
<b>Figura 21-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 800 MHz.....	49
<b>Figura 22-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 800 MHz.....	49
<b>Figura 23-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 800 MHz.....	50
<b>Figura 24-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 800 MHz.....	50
<b>Figura 25-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 900 MHz.....	51
<b>Figura 26-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 900 MHz.....	51
<b>Figura 27-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 900 MHz.....	52
<b>Figura 28-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 900 MHz.....	52
<b>Figura 29-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 950 MHz.....	53

<b>Figura 30-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 950 MHz.....	53
<b>Figura 31-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 950 MHz.....	54
<b>Figura 32-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 950 MHz.....	54
<b>Figura 33-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 1 GHz.....	55
<b>Figura 34-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 1 GHz.....	55
<b>Figura 35-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 1 GHz.....	56
<b>Figura 36-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 1 GHz.....	56
<b>Figura 37-3.</b>	Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 1.2 GHz.....	57
<b>Figura 38-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 1.2 GHz.....	57
<b>Figura 39-3.</b>	Bit Error Rate (BER), DQPSK a 1.2 GHz.....	58
<b>Figura 40-3.</b>	Video Recibido, DQPSK a 1.2 GHz.....	58
<b>Figura 41-3.</b>	Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 300 MHz.....	59
<b>Figura 42-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 300 MHz.....	59
<b>Figura 43-3.</b>	Bit Error Rate (BER), QPSK a 300 MHz.....	60
<b>Figura 44-3.</b>	Video Recibido, QPSK a 300 MHz.....	60
<b>Figura 45-3.</b>	Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 400 MHz.....	61
<b>Figura 46-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 400 MHz.....	61
<b>Figura 47-3.</b>	Bit Error Rate (BER), QPSK a 400 MHz.....	62
<b>Figura 48-3.</b>	Video Recibido, QPSK a 400 MHz.....	62
<b>Figura 49-3.</b>	Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 500 MHz.....	63
<b>Figura 50-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 500 MHz.....	63
<b>Figura 51-3.</b>	Bit Error Rate (BER), QPSK a 500 MHz.....	64
<b>Figura 52-3.</b>	Video Recibido, QPSK a 500 MHz.....	64
<b>Figura 53-3.</b>	Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 600 MHz.....	65
<b>Figura 54-3.</b>	Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 600 MHz.....	65
<b>Figura 55-3.</b>	Bit Error Rate (BER), QPSK a 600 MHz.....	66

<b>Figura 56-3.</b> Video Recibido, QPSK a 600 MHz.....	66
<b>Figura 57-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 700 MHz.....	67
<b>Figura 58-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 700 MHz.....	67
<b>Figura 59-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 700 MHz.....	68
<b>Figura 60-3.</b> Video Recibido, QPSK a 700 MHz.....	68
<b>Figura 61-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 800 MHz.....	69
<b>Figura 62-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 800 MHz.....	69
<b>Figura 63-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 800 MHz.....	70
<b>Figura 64-3.</b> Video Recibido, QPSK a 800 MHz.....	70
<b>Figura 65-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 900 MHz.....	71
<b>Figura 66-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 900 MHz.....	71
<b>Figura 67-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 900 MHz.....	72
<b>Figura 68-3.</b> Video Recibido, QPSK a 900 MHz.....	72
<b>Figura 69-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 950 MHz.....	73
<b>Figura 70-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 950 MHz.....	73
<b>Figura 71-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 950 MHz.....	74
<b>Figura 72-3.</b> Video Recibido, QPSK a 950 MHz.....	74
<b>Figura 73-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 1 GHz.....	75
<b>Figura 74-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 1 GHz.....	75
<b>Figura 75-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 1 GHz.....	76
<b>Figura 76-3.</b> Video Recibido, QPSK a 1 GHz.....	76
<b>Figura 77-3.</b> Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 1.2 GHz.....	77
<b>Figura 78-3.</b> Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 1.2 GHz.....	77
<b>Figura 79-3.</b> Bit Error Rate (BER), QPSK a 1.2 GHz.....	78
<b>Figura 80-3.</b> Video Recibido, QPSK a 1.2 GHz.....	78
<b>Figura 81-3.</b> Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 300 MHz.....	79

<b>Figura 82-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 400 MHz.....	80
<b>Figura 83-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 500 MHz.....	81
<b>Figura 84-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 600 MHz.....	82
<b>Figura 85-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 700 MHz.....	82
<b>Figura 86-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 800 MHz.....	83
<b>Figura 87-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 900 MHz.....	84
<b>Figura 88-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 950 MHz.....	85
<b>Figura 89-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 1 GHz.....	85
<b>Figura 90-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema DQPSK a 1.2 GHz.....	86
<b>Figura 91-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 300 MHz.....	87
<b>Figura 92-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 400 MHz.....	88
<b>Figura 93-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 500 MHz.....	88
<b>Figura 94-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 600 MHz.....	89
<b>Figura 95-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 700 MHz.....	90
<b>Figura 96-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 800 MHz.....	91
<b>Figura 97-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 900 MHz.....	91
<b>Figura 98-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 950 MHz.....	92
<b>Figura 99-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 1 GHz.....	93
<b>Figura 100-3.</b>	Datos Obtenidos del Sistema QPSK a 1.2 GHz.....	94



# **INTRODUCCIÓN**

## **Antecedentes**

El origen de la Televisión tiene sus inicios durante del siglo XIX, a partir de los estudios de las ondas electromagnéticas, las características y propiedades químicas de la materia; un detonante para la invención de la televisión fue el descubrimiento del selenio, el mismo que muestra aumento de conductividad cuando a este se le presentan variaciones de luz; años más tarde la invención del tubo del rayo catódico permitiría a la sociedad tener un medio de comunicación masivo. La historia social también ha contribuido para el avance de esta tecnología por ejemplo, la Segunda Guerra Mundial, el Consumismo a través de Publicidad, el Entretenimiento, inclusive la Moda, etc.

Conforme se iba popularizando esta tecnología en la mayoría de las Naciones, cada País adoptó sus propios estándares donde se definieron parámetros técnicos como las frecuencias a usar en VHF o UHF, el ancho de banda y modos de operación de estaciones terrenas; las características de las señales electromagnéticas no eran robustas y no se estaba optimizando los recursos, fue entonces que surgieron los modos de modulación y demodulación analógica, y la distribución organizada del espectro radioeléctrico.

La digitalización de los datos permite brindar mayores características con el fin de mejorar la calidad de la señal frente a interferencias como compresiones, encriptaciones, codificaciones, modulaciones de alto nivel; de esta forma en Ecuador es posible usar los 6MHz otorgados a un canal analógico en el cual podrían operar varios canales de High Definition (HD), también una de las principales ventajas es la racionalización óptima del espectro radioeléctrico.

Mediante la Implementación del Sistema de Transmisiones en una Radio Definida por Software se diseñarán modelos que puedan ser interpretados por el ordenador y que estos procesos se puedan efectuar sobre la estructura del Universal Software Radio Peripheral (USRP), entonces convertir estas señales en energía electromagnética; de tal manera que se puedan examinar y sobre todo comprender como la conjunción de estas tecnologías puedan ser empleadas para el uso y revisión de los Sistemas de Comunicaciones actuales e incluso la invención de nuevos sistemas como las Radios Cognitivas Inteligentes y de manera especial un enfoque hacia la televisión digital.

## **Formulación del problema**

¿La implementación de un Sistema de Transmisiones para TDT en el Ecuador a través de módulos USRP, generará un sistema flexible que brinde capacidades de reprogramación para poder ser usado en diferentes condiciones en cuanto a sus propiedades de operación?

## **Sistematización del problema**

¿En cuánto influirá la liberación del espectro radioeléctrico, si el apagón analógico llegara a suscitarse?

¿Cuán accesible será este sistema de transmisiones y cómo se adaptará a las prestaciones necesarias?

¿Cumplirá el diseño del sistema con los requisitos técnicos para asegurar que el estándar ISDB-T pueda utilizarse?

¿La implementación de este diseño, permitirá disminuir el costo para la transmisión digital terrestre de los canales del Ecuador?

## **Justificación**

La adopción del estándar de televisión brasileño ISDB-T a cargo del Estado para el Ecuador, proyecta alcanzar el apagón analógico para el año 2018 en las ciudades de mayor población; el cambio analógico/digital por parte de los concesionarios televisivos no ha sido el esperado, más aún esta actualización se ve retenida por algunas cuestiones como falta de conocimiento técnico acerca de los parámetros y características del estándar que se pretende alcanzar, inversión costosa, retención a los cambios que se han proyectado, etc.

La implementación de un sistema de transmisiones para la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, pretende crear un sistema precedente capaz de adaptarse a las especificaciones técnicas del estándar mencionado, de tal manera que sus administración y programación no sean tan complejas, además se aprovechará el uso de herramientas de gran potencial como lo son las plataformas SDR, de esta manera existiría la posibilidad de disminuir costos, e influenciar a que el apagón analógico suceda con mayor fluidez.

Es necesario analizar cada una de las características del estándar tales como Modulación, Codificación, Ancho de Banda, Frecuencia de Operación, etc; una vez clarificada esta información, se elaborará un plan de desarrollo secuencial para diseñar e implementar en la plataforma SDR.

Con el uso del módulo USRP, es posible adaptar cualquier sistema de comunicación que se pretenda realizar; se puede optimizar al máximo sus características para generar el ambiente de un sistema de Televisión Digital; con el uso de estos módulos a través de los ordenadores se diseñara el sistema modulador y el demodulador respectivamente, a continuación se realizarán las pruebas en tiempo real y se añadirán interferencias con el fin de determinar el comportamiento y la funcionalidad del mismo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Implementar un Sistema de Transmisiones para Televisión Digital Terrestre en el Ecuador a través de módulos USRP.

### **Objetivos específicos**

Extraer la información más importante del Estándar Brasileño ISDB-T adoptado por el Ecuador.

Implementar los parámetros más significativos del algoritmo ISDB-T usando la plataforma SDR empleando GNU Radio Companion.

Realizar las Simulaciones para comprobar el funcionamiento del sistema.

Evaluar el Sistema de Transmisiones en tiempo real.

Fomentar el uso de Radios reprogramables sobre Sistemas Operativos Libres.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Televisión Digital Terrestre

##### 1.1.1. Definición

La invención de la Televisión es un avance conjunto en la línea histórica en la cual en 1884 el alemán Paul Nipkow patentó un disco electromagnético dirigido a una exploración lumínica, en 1923 el escocés John Logie Baird perfecciona el disco de Nipkow con el empleo de células de selenio, Charles F. Jenkins realizó transmisiones experimentales usando un sistema mecánico, es entonces que el ruso Vladimir Sworykin aplicó para una patente que concernía al estudio del tubo de rayos catódicos; entonces el desarrollo avanzó a tal punto de definir las líneas de transmisión y procesar imágenes a color, el inicio de la TDT comenzó a partir de 1994.

La Televisión Digital Terrestre se genera cuando se aplican técnicas digitales como encriptaciones, codificaciones, y modulaciones a las señales analógicas que son distribuidas públicamente en el País; la digitalización también se produce debido a la necesidad de liberar el espectro radioeléctrico puesto que con esta tecnología es posible transmitir varios canales SD y HD en el actual ancho de banda asignado a las frecuencias dedicadas al servicio de televisión analógica del Ecuador.

Una de las principales características es que al aplicar esta técnica la calidad de las señales aumenta considerablemente, además existe la posibilidad de tener una televisión con interactividad en la cual se puedan ofertar y proveer diversidad de servicios.



**Figura 1-1. Televisión Digital Terrestre**

**Fuente:** Página Oficial del Ministerio de Telecomunicaciones

### ***1.1.2. Alcance actual de la TDT en el Ecuador***

En estado de prueba se encuentran transmitiendo en ciudades como: Santo Domingo, Latacunga, Guayaquil, Quito, Cuenca y Ambato; para el 2014 según el Ministerio de Telecomunicaciones contabilizó que dentro de las 89 estaciones autorizadas, 23 ya cuentan con un formato digital; y se espera alcanzar el Apagón Analógico hasta Diciembre del 2018.

### ***1.1.3. Beneficios de la TDT***

Las actualizaciones tecnológicas reciben un gran cambio sobre la infraestructura de las diferentes estaciones, puesto que se cambia el formato ya que este debe ajustarse a la norma adoptada por el Ecuador y también debe cumplir con las regularizaciones tanto técnicas como de contenido, a continuación se menciona algunos de los principales impactos

- Garantiza que el servicio de televisión pública sea de calidad.
- Inclusión de nuevos servicios mediante la interactividad.
- Optimización del espectro radio eléctrico.
- Mayor disponibilidad de canales.
- Desarrollo de Contenidos respecto a salud, emergencias, programas culturales, etc.
- Posibilidad de manejar varios idiomas sobre un mismo contenido.
- Recepción móvil.

## **1.2. Estándar ISDBT**

### ***1.2.1. Historia y Definición***

El desarrollo de la Televisión de alta definición inició en 1960 por parte del Laboratorio de Investigaciones NHK STRL, a medida que las invenciones se mejoraban con el paso de los años la tecnología se renovó a tal punto que en 1982 se desarrolló la Codificación Múltiple de Muestreo Sub-Nyquist (MUSE), se pusieron a prueba este y otros estándares en Estados Unidos, pero al no

llegar a un convenio, cada País en cada Continente fue adoptando el estándar más conveniente según su situación; fue entonces que los Japoneses reinventaron su estándar en la Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión (ARIB), dando lugar a un estándar de altas prestaciones y de muy favorables desarrollos denominado ISDBT.

Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (Radiodifusión Terrestre con Servicios Integrados), es la vinculación de normas en la cual se definen nuevas características y parámetros técnicos sobre el tratamiento de las señales al aplicar diversos métodos y definir como es el procesamiento secuencial de los datos a transferir con el fin de obtener los símbolos necesarios que el sistema necesita para su operación normal asegurando así que del lado del receptor se obtengan los datos con errores mínimos.

### ***1.2.2. Adopción del estándar por parte del Estado Ecuatoriano***

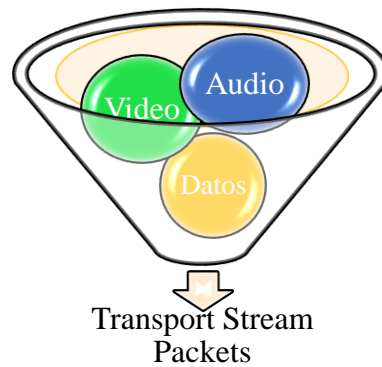
El 23 de Diciembre del 2013 el Ecuador acogió el estándar ISDBT cuando entró en vigencia el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 083 fue entonces que se crearon comités que se encargarían de establecer las nuevas regularizaciones y sobre todo organizar una planificación sincronizada para proseguir con la transición analógica-digital.

### ***1.2.3. Características Técnicas del Estándar ISDBT***

En exclusiva referencia a las normas brasileñas ABNT NBR que definen el tratamiento de la Televisión Digital Terrestre, se muestra las características más relevantes que conforman este sistema.

#### **Re-multiplexador**

El bloque principal al cual se insertan las señales de audio, video y datos, donde se condiciona una entrada de 188 bytes y a su salida se encuentra los Transport Stream Packets de 204 bytes.

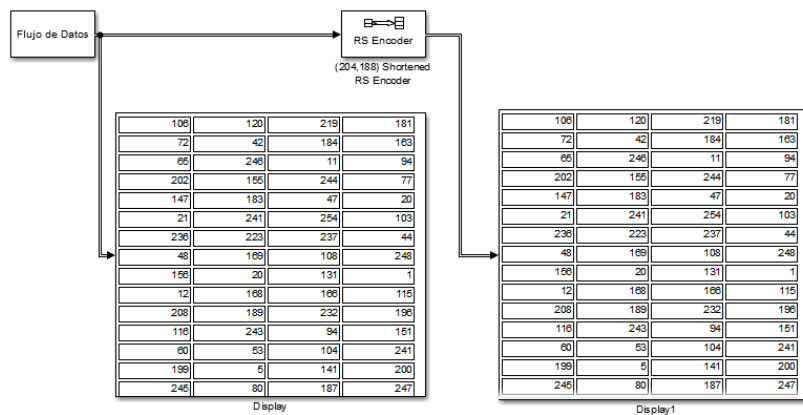


**Figura 2-1.** Multiplexación de información  
Fuente: Autor

### Codificación Externa

La codificación cíclica no binaria Reed Solomon precisa una redundancia a los datos ingresados y los trata en forma de símbolos, por esto es considerado como un código de corrección de errores (Forward Error Correction) puesto que si en el receptor no coincide la secuencia de datos válidos se determina que el mensaje contiene errores.

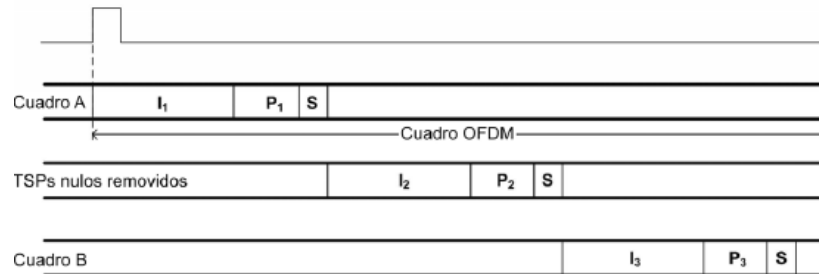
En la Norma se aplica un código Reed Solomon (204,188), que se obtiene para definir un GF ( $2^8$ ) al usar el polinomio primitivo:  $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ; es necesario agregar 51 bytes (00HEX) al inicio de la entrada de los datos, puede corregir una tasa de 8 bytes aleatorios entre los 204 bytes de cada trama.



**Figura 3-1.** Codificación Reed Solomon  
Fuente: Autor

## División Capa Jerárquica

Al segmentar los paquetes es posible tratar a los servicios con diferentes configuraciones de transmisión siendo esta división de máximo tres capas; en donde se descartan los paquetes nulos de las tramas que se separan por su byte de sincronismo.

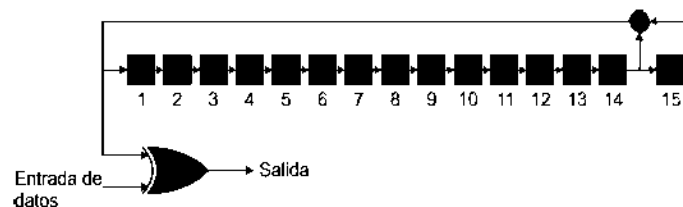


**Figura 4-1.** División del TS en dos capas jerárquicas

Fuente: Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Dispensador de Energía

Los bits generados por cada capa jerárquica deben ser tratados para uniformizar la distribución de probabilidad, puesto que la tasa de bits se concentra en determinadas frecuencias. El polinomio del PRBS (Pseudo Random Bit Sequence) es:  $G(x) = x^{15} + x^{14} + 1$  y su valor inicial es de 100101010000000.



**Figura 5-1.** Dispensador de Energía

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina

## Ajuste de Atraso

Al trabajar con varias capas es conveniente dar diferentes tratamientos a cada trama, para esto se designa un tiempo prudencial que sea idéntico para transmisión y recepción, también está enlazado al byte de interleaving.



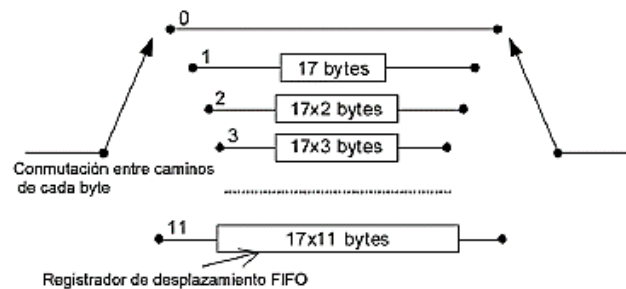
**Tabla 1-1:** Ajuste del valor de atraso requerido, como resultado del entrelazamiento de byte.

Modulación de portadora	código convolucional	Valor de ajuste del atraso (número de transmisión de TSP) <sup>a</sup>		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK QPSK	1/2	12 x N-11	24 x N-11	48 x N-11
	2/3	16 x N-11	32 x N-11	64 x N-11
	3/4	18 x N-11	36 x N-11	72 x N-11
	5/6	20 x N-11	40 x N-11	80 x N-11
	7/8	21 x N-11	42 x N-11	84 x N-11
16QAM	1/2	24 x N-11	48 x N-11	96 x N-11
	2/3	32 x N-11	64 x N-11	128 x N-11
	3/4	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	5/6	40 x N-11	80 x N-11	160 x N-11
	7/8	42 x N-11	84 x N-11	168 x N-11
64QAM	1/2	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	2/3	48 x N-11	96 x N-11	192 x N-11
	3/4	54 x N-11	108 x N-11	216 x N-11
	5/6	60 x N-11	120 x N-11	240 x N-11
	7/8	63 x N-11	126 x N-11	252 x N-11

**Fuente:** Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Byte Interleaving

Es una memoria que causa atraso en las tramas excepto en la primera puesto que esta es de sincronización y tiene un tamaño de 12 bytes.



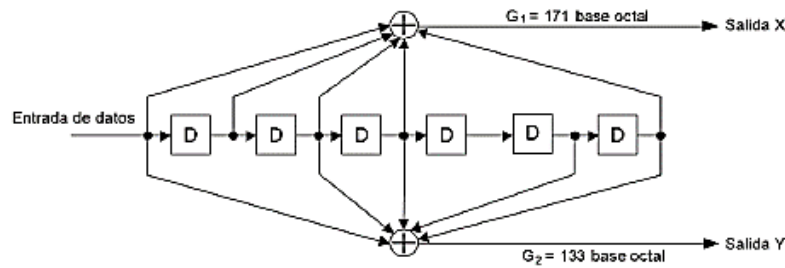
**Figura 6-1.** Circuito de byte interleaving

**Fuente:** Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

De manera general el interleaving (intercalador), realiza un proceso de desorden de datos que ayuda a los bloques de corrección de errores.

## Codificación Interna

Código Convolutivo con  $K=7$  y tasa de  $1/2$ , en el cual se mejora la capacidad de detectar y/o corregir errores, se muestra su forma en la siguiente figura.



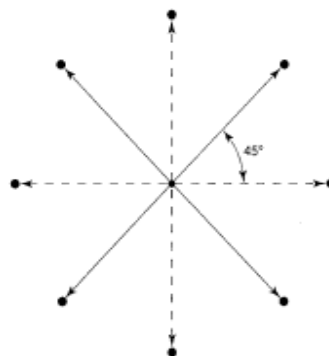
**Figura 7-1.** Circuito de Codificación Convolucional  
Fuente: Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Modulación de Portadora

Nuevamente es necesario un retraso dependiendo del mapeo que se va a usar. Dentro de las modulaciones se definen DQPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM.

## DQPSK

La modulación diferencial produce un desfaseamiento de  $\pi/4$  con una entrada de 2 bits por símbolo resultando en una constelación de 8 símbolos.

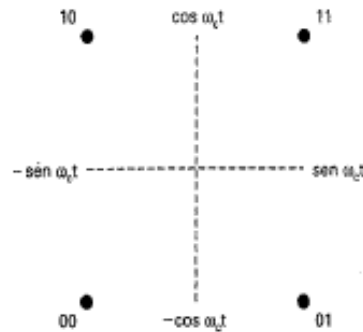


**Figura 8-1.** Constelación DQPSK con desplazamiento  $\pi/4$   
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2001.

## QPSK

Desplazamiento cuaternario de fase, con esta codificación cuatro fases de salida se obtiene para una determinada frecuencia de portadora.

Al igual que DQPSK la entrada es de 2 bits por símbolo, puesto que realiza un mapeo en cuadratura generando una constelación de 4 símbolos.

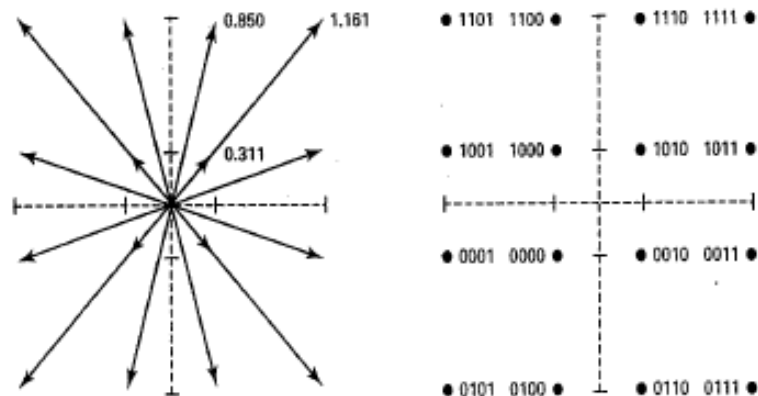


**Figura 9-1.** Constelación QPSK.

**Fuente:** Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2001.

## 16QAM

Es un sistema M-ario que varía tanto en amplitud como en fase a la portadora. Un mapeo de 16 símbolos se produce con una entrada de 4 bits.

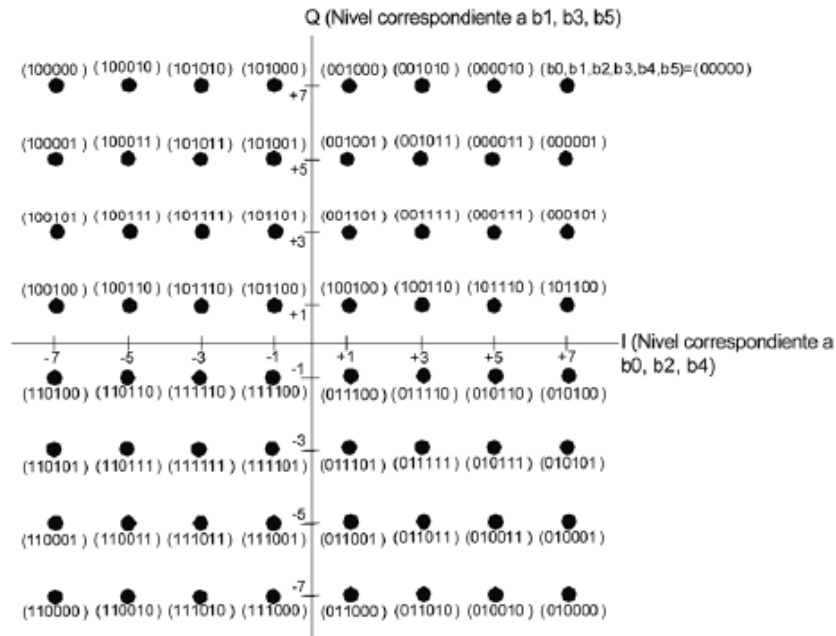


**Figura 10-1.** Diagrama Fasorial 16QAM

**Fuente:** Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2001.

## 64QAM

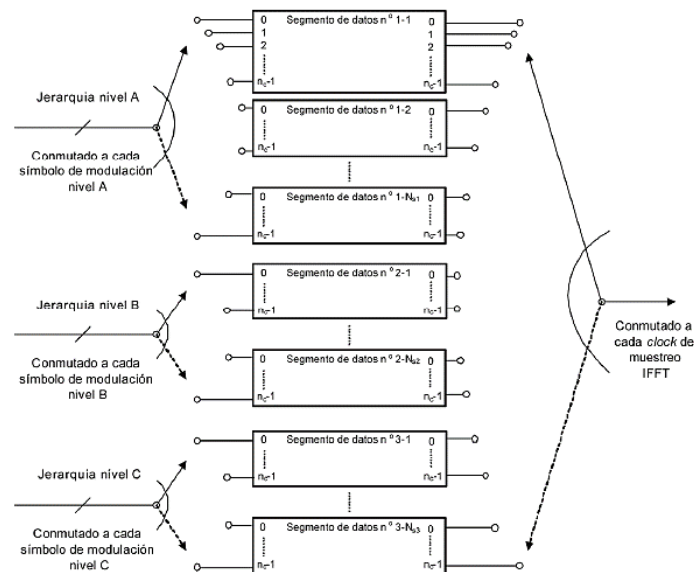
A su entrada 6 bits, producen un mapeo de 64 símbolos como constelación.



**Figura 11-1.** Constelación 64QAM  
**Fuente:** Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Combinación de Capas Jerárquicas

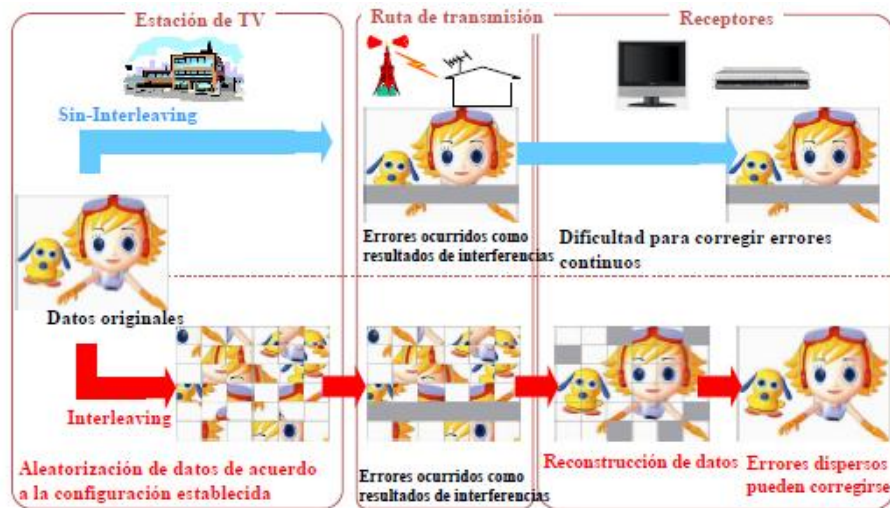
Una vez convertidos en símbolos todos los datos de cada capa se debe reorganizar para formar el símbolo OFDM.



**Figura 12-1.** Configuración del Combinador de capas.  
**Fuente:** Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Entrelazamiento de Tiempo

Se aplica un nuevo retraso de tal manera que en cada subportadora se reordenen los símbolos, de esta manera se pueden corregir datos, puesto que si existen errores estos ya no son contiguos.



**Figura 13-1.** Efecto del Time Interleave

Fuente: DiBEG Digital broadcasting experts group

## Entrelazamiento de Frecuencia

Existen 2 tipos de entrelazamientos; el primero es entre segmentos donde las portadoras se mezclan entre DQPSK, QPSK, 16QAM, y 64QAM por separado; y la segunda es dentro del segmento donde se realizan operaciones de rotación y randomizing.

Before	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
After	80	93	63	92	94	55	17	81	6	51	9	85	89	65	52	15	73	66	46	71	12	70	18	13

Before	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
After	95	34	1	38	78	59	91	64	0	28	11	4	45	35	16	7	48	22	23	77	56	19	8	36

Before	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
After	39	61	21	3	26	69	67	20	74	86	72	25	31	5	49	42	54	87	43	60	29	2	76	84

Before	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95		
After	83	40	14	79	27	57	44	37	30	68	47	88	75	41	90	10	33	32	62	50	58	82	53	24

**Figura 14-1.** Rotación de portadoras

Fuente: DiBEG Digital Broadcasting Experts Group

## Estructura del Cuadro OFDM

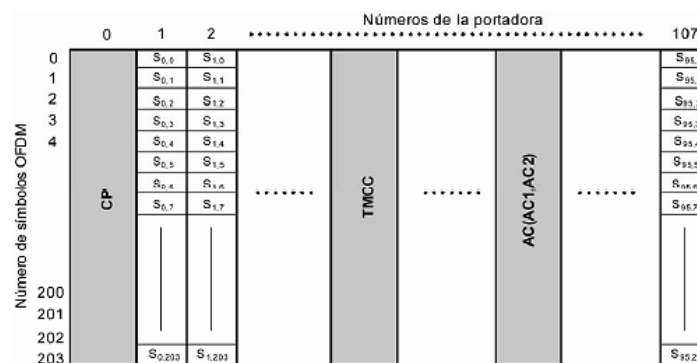
Para generar el cuadro es necesario procesar y adjuntar a la señal las portadoras: AC, TMCC, SP y CP.

AC (Auxiliar Channel): Lleva información sobre la configuración de la transmisión, es un canal auxiliar.

TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control): Su principal función es llevar información sobre la demodulación y la decodificación.

SP (Scattered Pilot): Señal Piloto Disperso, es una señal BPSK que sirve para sincronización.

CP (Continual Pilot): Tiene el mismo tratamiento que la SP pero se ubica al inicio de la portadora cero y al final del símbolo OFDM.



**Figura 15-1.** Configuración del segmento OFDM para modulación diferencial

**Fuente:** Norma Brasileña ABNT NBR 15601 (1-12-2007)

## Transformada Rápida de Fourier

Para un ancho de banda de 6Mhz la frecuencia de muestreo es de 8 MHz, y su longitud varía con respecto al modo de transmisión; también es importante mencionar que se añade un Prefijo Cíclico cuyo propósito es no perder la ortogonalidad de las portadoras.

### **1.3. Sistema de Transmisión Digital**

#### ***1.3.1. Sistema Transmisor***

La necesidad de llevar un mensaje genera una fuente de datos, la cual debe ser acoplada a un formato especial, el transmisor se encarga de convertir la información en señales aptas para ser enviadas en un medio guiado o no guiado; cuando se habla de digitalización, mayor tratamiento se puede dar a las señales que van a ser emitidas.

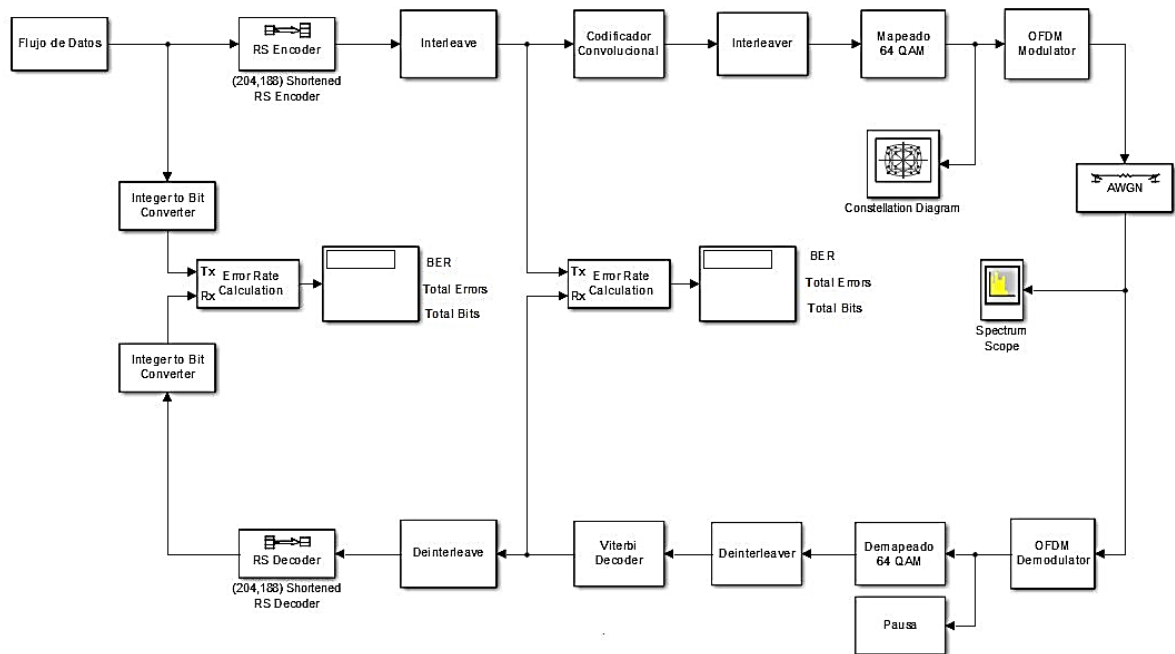
El Transmisor es el encargado de generar la señal para lo cual este define las pautas que se van a seguir por cada dato como encriptaciones, codificaciones, modulaciones, y por otra parte especifica que frecuencia se emitirá, que ancho de banda es necesario, que niveles de potencia aseguran la trayectoria; pero también considera aspectos en relación al hardware, software e incluso naturales que pueden deteriorar a la señal. Puntualiza como es el tratamiento de la información y de qué modo se puede acceder a la misma.

#### ***1.3.2. Sistema Receptor***

El Sistema Receptor está ligado a los patrones que tiene el transmisor, sólo de esta manera podrá adquirir la información que haya captado. Al igual que el transmisor está expuesto a problemas tanto internos como externos en su arquitectura, su tarea más crítica es tener una sincronización secuencial y una recepción en un rango en el cual tenga la capacidad de detectar las señales transmitidas.

#### ***1.3.3. Diagrama de Bloques***

El sistema de transmisiones que se muestra a continuación tiene varios bloques principales que se usan en la transmisión de Televisión Digital Terrestre.



**Figura 16-1.** Diagrama de Bloques de un Sistema de Transmisiones Digital

Fuente: Mathworks, 2014.

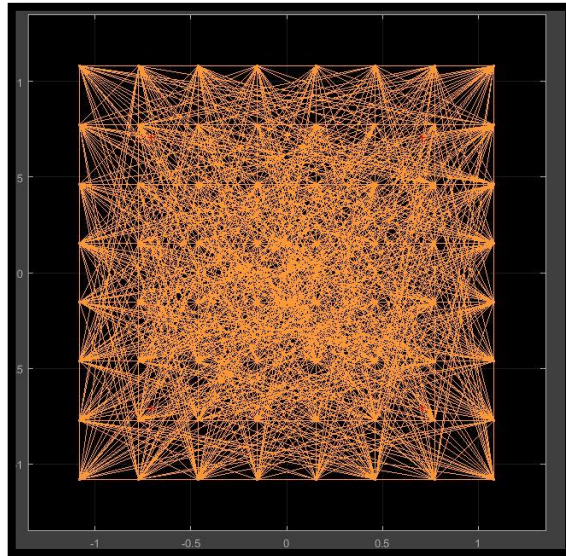
#### 1.3.4. Operación del Sistema

Una vez generada una fuente de información aleatoria, pasa a una codificación externa Reed Solomon (204,188), luego el Interleave se encarga de aleatorizar los datos, a continuación se aplica un codificador convolutivo con punzado, y es mapeado a 64QAM y transmitido a través de un modulador OFDM por un canal AWGN; por parte del Receptor se decodifican los símbolos OFDM y se demodulan a símbolos 64QAM, a continuación se ordenan los paquetes y se aplica un decodificador de Viterbi, finalmente se vuelve a reordenar los paquetes y el decodificador Reed Solomon entrega los datos obtenidos.

Se usa un cálculo de error para contabilizar cuantos bits han sido corrompidos.

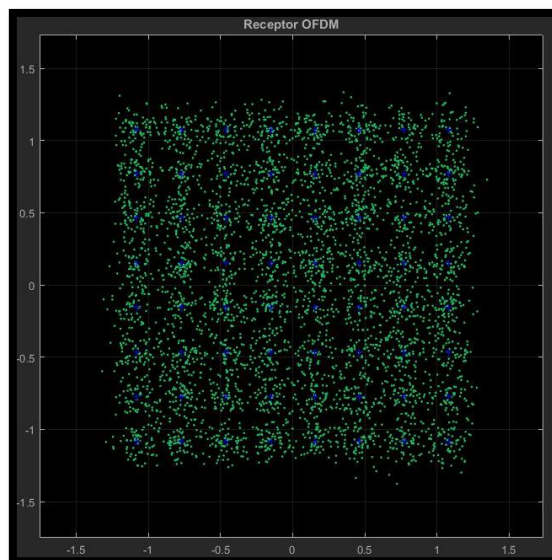
El sistema transmisor procesa los símbolos y produce los datos OFDM para formar el siguiente cuadro, en donde se puede visualizar la trayectoria de los 64 símbolos.





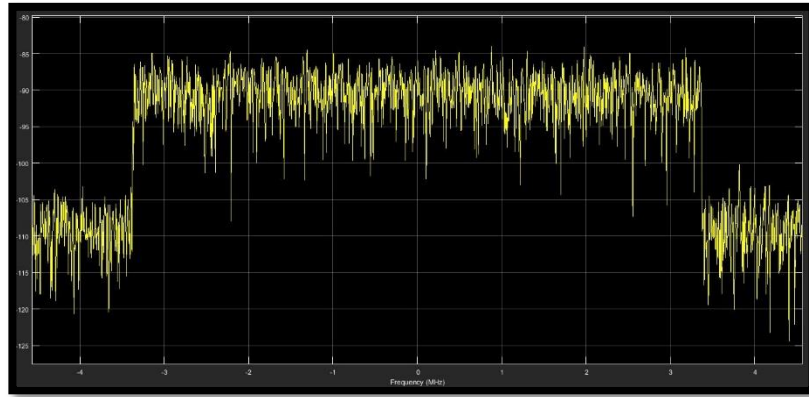
**Figura 17-1.** Constelación del Transmisor OFDM  
Fuente: Mathworks, 2014.

El canal AWGN, es un canal de prueba en el cual se simula como si estuviera transmitiéndose con los efectos que alteran a las señales en la realidad; por su lado en el receptor los datos sufren un cierto desfase pero pese a estas circunstancias es posible recuperar y corregir los errores que se han ocasionado.



**Figura 18-1.** Datos en el receptor OFDM  
Fuente: Mathworks, 2014.

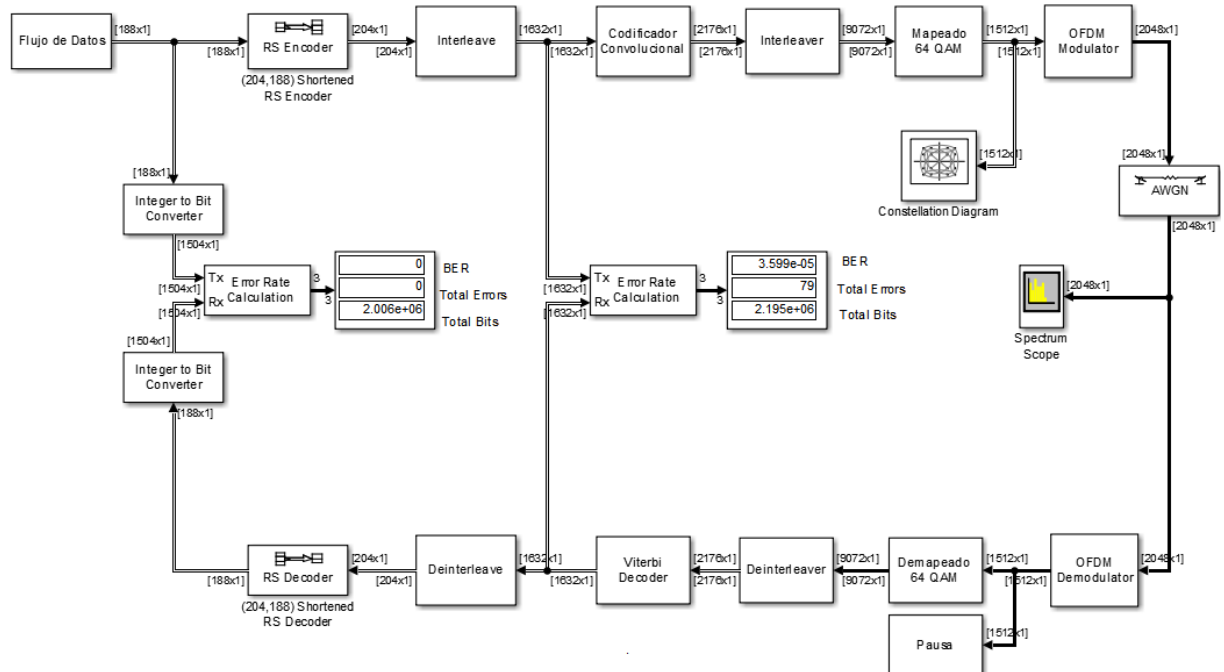
La concentración de energía se encuentra desplegada en un ancho de banda de 6MHz.



**Figura 19-1.** Espectro de la Señal Emitida

Fuente: Mathworks, 2014.

A continuación se contabiliza en 2 etapas el flujo de datos, existen 79 errores al comparar la codificación Reed Solomon con intercalado frente a la recepción parcial luego del decodificador viterbi, pero al analizar de manera global se ratifica que pese a existir errores estos no influyeron en el transcurso de la propagación de los datos.



**Figura 20-1.** Tasa de Error de Bit del Sistema

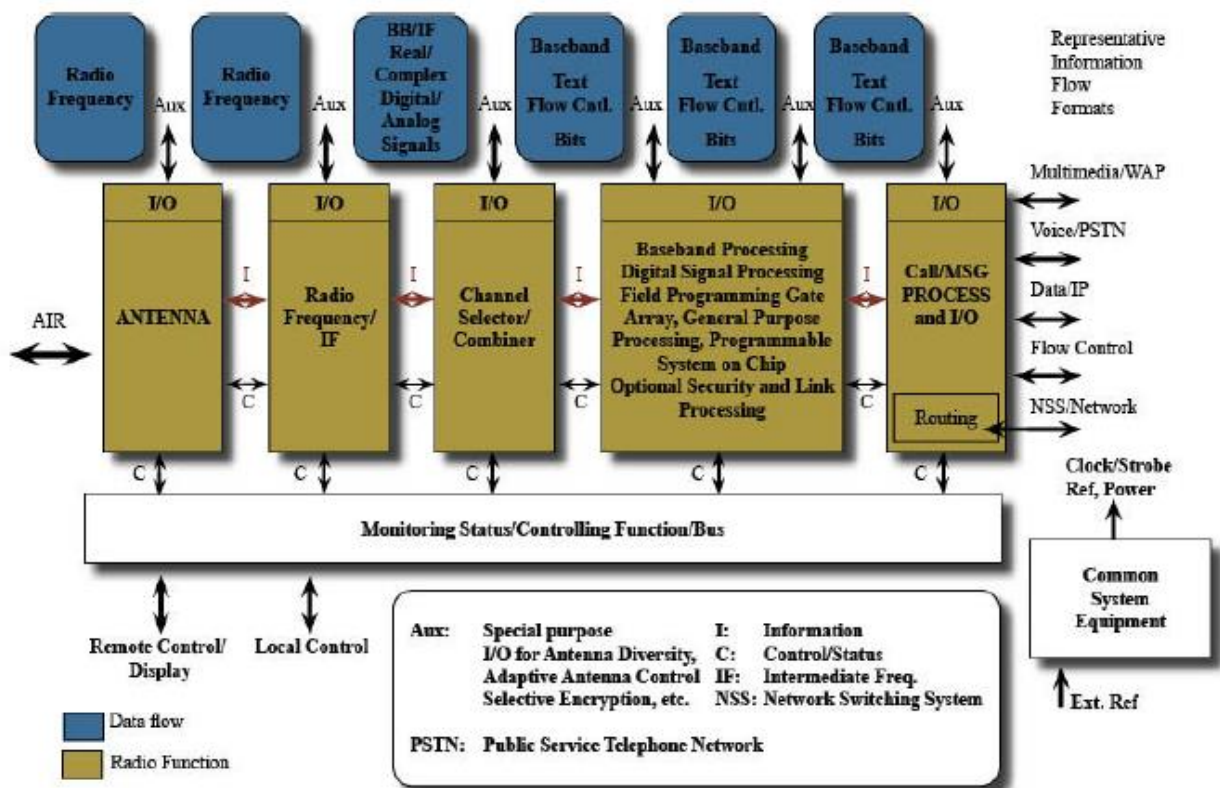
Fuente: Mathworks, 2014.

#### 1.4. Plataforma SDR

### 1.4.1. Definición

El Software Definido por Radio, según la IEEE es una Radio en la cual todas las funciones de la capa física son definidas por el software.

Debido a que las limitaciones de los radios hardware no pueden ser reconfigurados para que puedan procesar o hacer cambios en su estructura de manera inmediata; al contrario el SDR es una combinación de software y hardware en donde las operaciones de procesamiento son ordenadas a través de interfaces programables, y estas son convertidas a señales mediante sensores, procesadores, chips programables y FPGA que se encargan de determinar el método físico.



**Figura 21-1.** Arquitectura Funcional Generalizada de SDR

Fuente: SDR Forum Document Number SDRF-01-P-0006-V2.0.0, 2002

#### ***1.4.2. Prestaciones de la Plataforma***

- Arquitectura Simple y Software reprogramable.
- Reducción de Costos.
- Aplicaciones de Monitoreo de tecnologías actuales.
- Creación de Sistemas de Comunicaciones.
- Radios Inteligentes aprenden el mecanismo de comunicaciones de forma automática.

### **1.5. Módulo USRP B210**

#### ***1.5.1. Definición***

Universal Software Radio Peripheral, es una tarjeta física compuesta de una micro autorización como arquitectura, que se puede usar para varias aplicaciones como Radio FM, Radiodifusión de Televisión, Wi-Fi, Análisis de Puertos, etc.

Puede operar en un rango de frecuencias desde 70MHz hasta 6 GHz, tiene 2 canales para transmitir y 2 para recibir, se comunica con el ordenador a través de conectividad USB 3.0 y sus drivers se definen como UHD que son de código abierto y pueden operar en Linux, Mac y Windows.

Características:

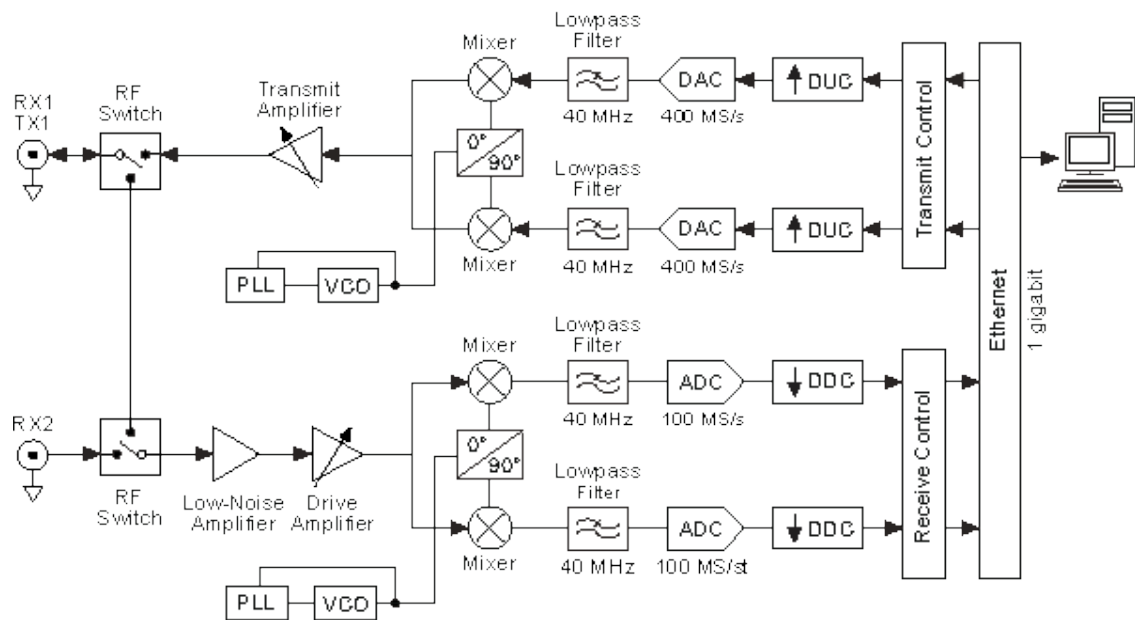
- FPGA Xilinx Spartan 6 C6SLX150
- Interfaz USB 3.0
- Frecuencia de operación en un rango desde 70 MHz hasta 6 GHz
- 2 RX y 2 TX para comunicación Full Duplex o Half Duplex
- Anchos de banda hasta 32 MHz en MIMO de 2 x 2 y 56 MHz en SISO

## - Dispositivos Analógicos AD9361

### Funcionalidad de un módulo USRP

La señal electromagnética que se recibe por medio de la antena pasa a través de la tarjeta hija, en donde es amplificada con el FPGA y traslada de Radio Frecuencia a banda base más una variación del oscilador, esta señal que sale de la tarjeta hija es pasada a la tarjeta madre, atraviesa nuevamente por el FPGA y posteriormente a un ADC, en donde se convierte en una señal binaria, dado que el ordenador solo procesa bits y no señales analógicas. Luego la señal codificada binariamente se pasa por medio de un DDC, el cual elimina la variación del oscilador y divide la tasa de muestreo del ADC por un factor de diezmando, la cual será transmitida por medio de la interfaz USB hacia el ordenador.

#### 1.5.2. Estructura Módulo USRP



**Figura 22-1.** Estructura del USRP B210

Fuente: Ettus Research, 2016.

#### 1.5.3. Aplicaciones

## - Ensamble de Sistemas de Comunicación.

- Operación con software reprogramable.
- Sondeo de Redes de Datos.
- Análisis y desarrollo de tecnologías de Radio actuales.

## 1.6. S.O Linux Mint

### 1.6.1. Características del S.O.

Una distribución más de licencia GNU; Linux Mint ofrece un confortable, elegante y moderno Sistema Operativo que es muy poderoso y fácil de usar. Está basado en distribuciones Debian y Ubuntu provisionando cerca de 30000 paquetes con administración no muy compleja, al mismo tiempo acceso gratuito y posee una gran comunidad de usuarios. Es muy recomendable para usuarios básicos puesto que ofrece interfaces e interactividad amigable.

Al ser un software flexible se pueden encontrar mayores herramientas para el desarrollo de software definido por radio, además al estar liberado de las condiciones de los controladores la instalación resulta fácil y sencilla.



**Figura 23-1.** Ventana S.O. Linux Mint  
**Fuente:** Linux Mint, 2016

## 1.7. GNU Radio Companion

### 1.7.1. Ambiente de Desarrollo

Es un software compuesto de archivos, scripts, aplicaciones y programaciones reconfigurables que permiten realizar el diseño, simulación e implementación del procesamiento de señales de diversos Sistemas de Comunicaciones.

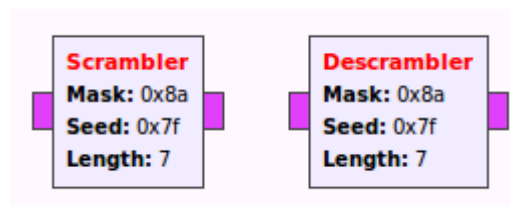
Bastará definir qué bloques de procesamiento se va a usar y que fuentes de información se van a presentar, dependiendo de los bloques se crean las conexiones, cuando se genera el código se crea un archivo .py, el cual está encargado del control de flujo para las gráficas y un archivo en c++ que realiza el procesamiento.

Además presenta herramientas para el sondeo de Redes, conexión de puertos, y se convierte en una herramienta de alto nivel cuando se usa un USRP.

### 1.7.2. Bloques de Operación

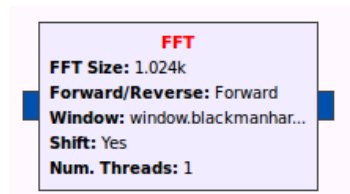
Dependiendo de la versión algunos módulos de bloques pueden variar, a continuación se describe algunos bloques de procesamiento. La versión usada es la 3.7.

Enmascaramiento y Desenmascaramiento para etiquetar la información que sea necesaria.



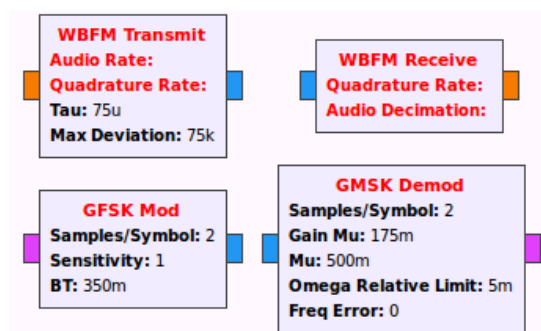
**Figura 24-1.** Scrambler y Descrambler  
Fuente: GNU Radio

Transformada Rápida de Fourier tanto directa como inversa, permite analizar las señales dependiendo del tamaño de la misma.



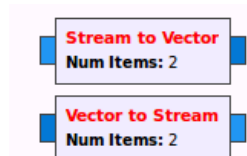
**Figura 25-1. FFT**  
Fuente: GNU Radio

Moduladores / Demoduladores como QAM, OFDM, PSK, GFSK, WBFM entre otros.



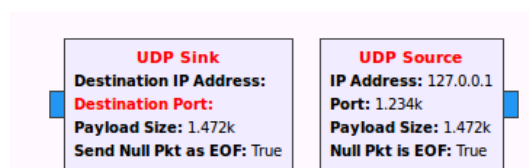
**Figura 26-1. Moduladores / Demoduladores**  
Fuente: GNU Radio

Operadores de datos, mediante los cuales se puede modificar el tamaño de los streams.



**Figura 27-1. Operadores de Stream**  
Fuente: GNU Radio

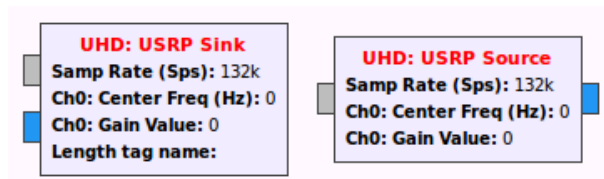
Es posible enviar y recibir datos a través de la Red.



**Figura 28-1. Transmisión y Recepción UDP**  
Fuente: GNU Radio



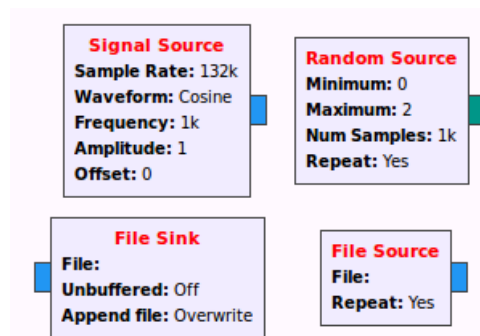
Para conectar un dispositivo USRP es necesario usar los siguientes bloques.



**Figura 29-1.** Transmisión y Recepción UHD

Fuente: GNU Radio

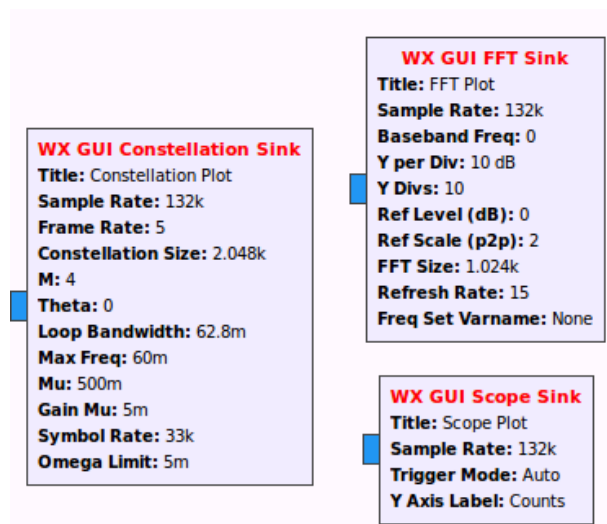
Se puede extraer datos o generar señales.



**Figura 30-1.** Generadores de Señales

Fuente: GNU Radio

También se puede graficar y determinar cómo es el comportamiento del procesamiento de las señales.



**Figura 31-3.** Analizadores de Señales

Fuente: GNU Radio

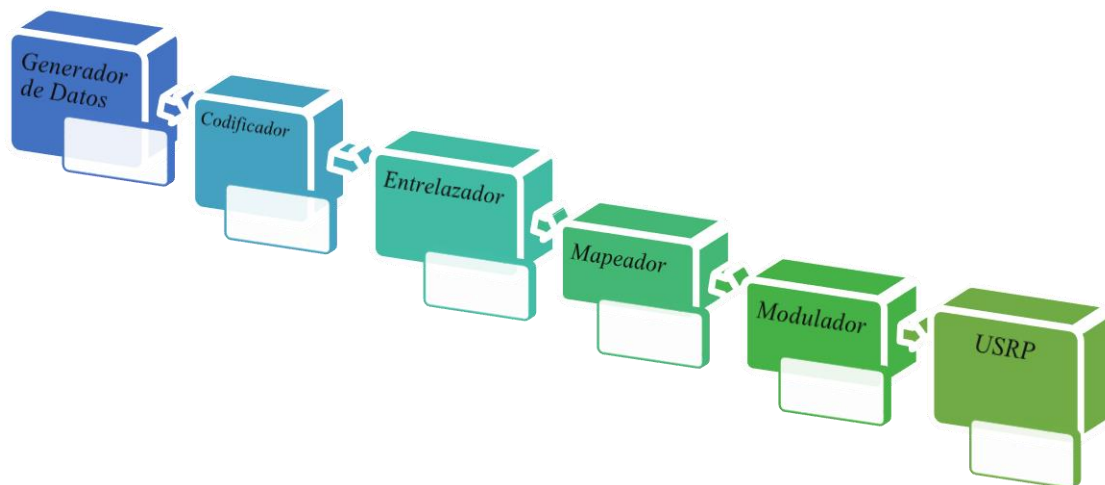
## CAPITULO II

### 2. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIONES PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR A TRAVÉS DE MÓDULOS USRP

#### 2.1. Estructura Lógica del Sistema de Transmisiones.

##### 2.1.1. Diagrama de Bloques del Transmisor

La extracción de datos se efectuará de un video de alta definición. El codificador toma cada símbolo y lo representa en series de bits con un tamaño determinado de 2 símbolos para codificación DQPSK y QPSK. El entrelazador o interleave aleatoriza las secuencias de bits; conjuntamente el mapeador y el modulador realiza el tratamiento de los bits conforme a la constelación deseada, finalmente los parámetros del USRP como frecuencia, tasa de muestreo, antena, y ganancia son establecidas para poner en marcha su funcionamiento.

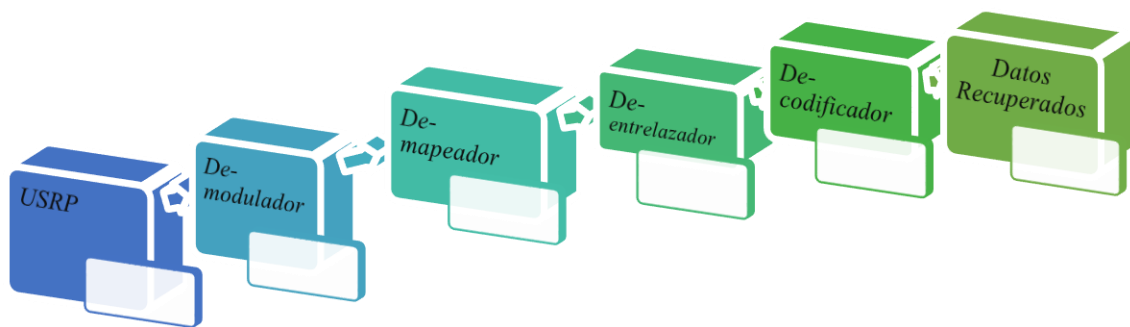


**Figura 1-2.** Diagrama de Bloques, Sistema Transmisor

Fuente: Autor

### 2.1.2. Diagrama de Bloques del Receptor

El USRP de recepción debe trabajar a la misma frecuencia y con la misma tasa de muestreo, la ganancia puede variar de tal manera que se garantice que la señal si se está receptando, el de-mapeador junto al demodulador interpreta y vuelve a tratar la información respecto a los símbolos de su constelación, mientras que el de-entrelazador reordena los paquetes puesto que las secuencias de bits no estaban contiguas, y finalmente el decodificador cambia los bits a símbolos escribiendo un archivo que representa los datos obtenidos.



**Figura 2-2.** Diagrama de Bloques, Sistema Receptor

Fuente: Autor

## 2.2. Estructura Física del Sistema de Transmisiones

### 2.2.1. Conexión del Módulo USRP hacia el Ordenador

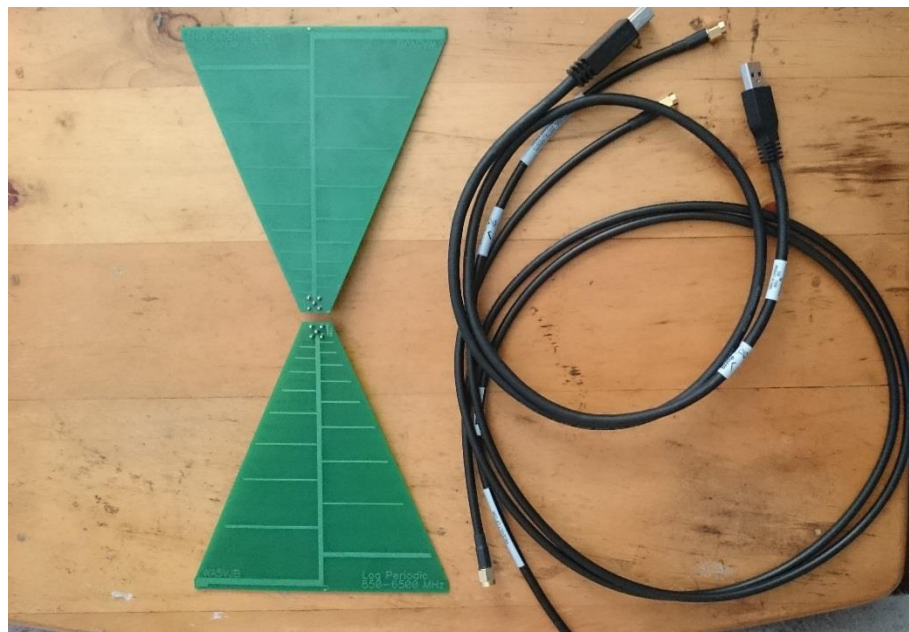
Junto con los módulos USRP de la Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes también hay disponible un USB 3.0 booteable, esta contiene una imagen del Sistema Operativo Linux Mint 13 que cuentan con el programa GNU Radio versión 3.7, y lo más importante es que los controladores UHD con las imágenes de los USRP B210 también están configurados.



**Figura 3-2.** Conexión USRP – Notebook  
Fuente: Autor

La comunicación de los datos desde el Ordenado hacia el USRP se transmite sobre un Cable de conexión USB, y para las antenas se necesita 2 cables ASSY de conexión en los periféricos de las terminales del módulo.

Las antenas usadas son Log Periodic que operan en las bandas de frecuencia desde 850 MHz hasta 6 GHz.



**Figura 4-2.** Antenas Log Periodic, Cable USB, Cables ASSY  
Fuente: Autor

A continuación se muestra la estructura del módulo USRP.

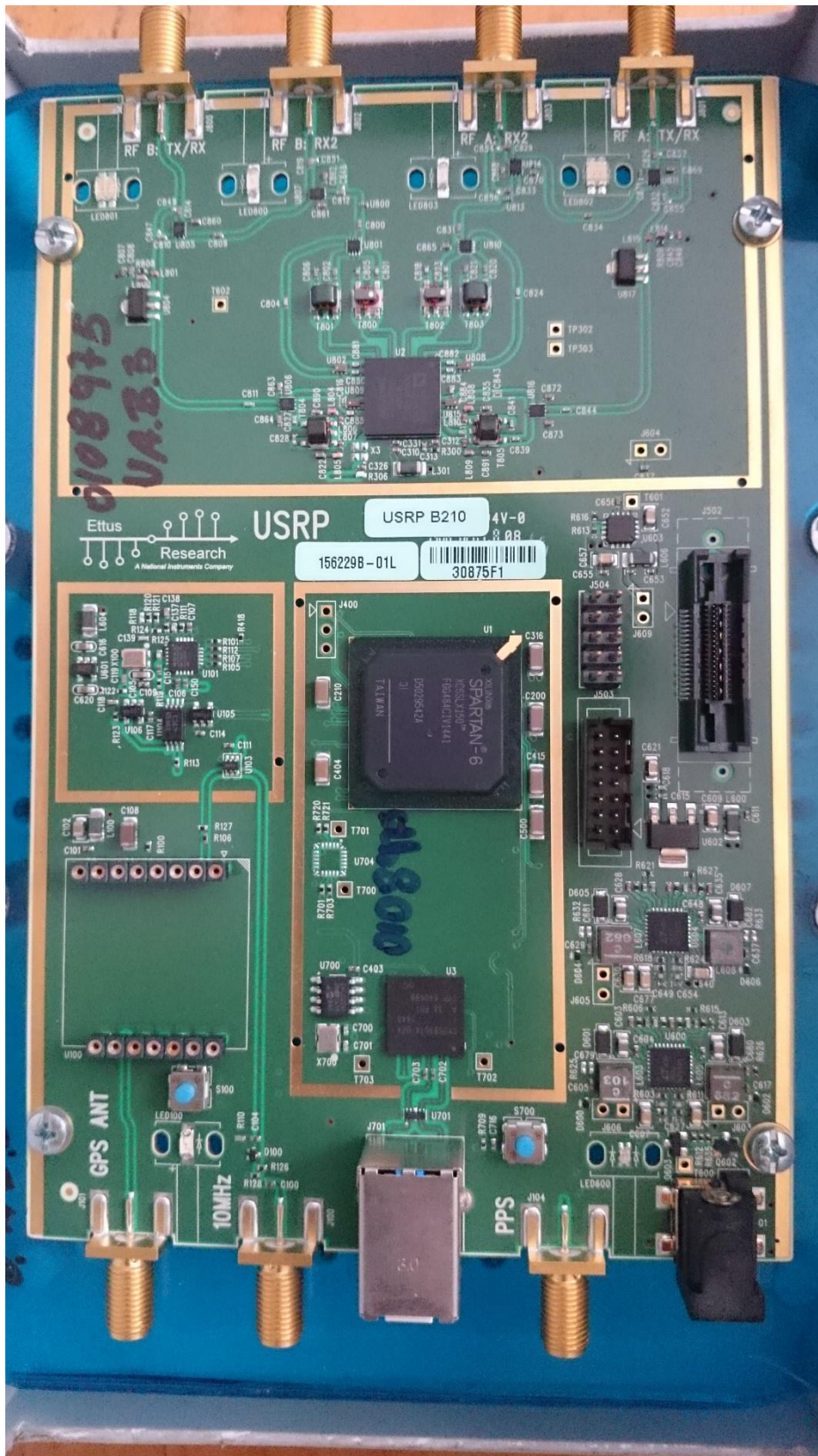
En la parte superior los 2 canales definidos como A y B, en ambos las salidas respectivas son TX/RX y RX2; como su nombre los indica TX/RX sirve para transmitir y recibir, y RX2 sirve solo para recibir.

En la parte inferior se encuentra la entrada de Antena GPS que puede servir para sincronización del reloj interno; el conector USB 3.0 actúa como la interfaz de comunicación entre el ordenador y el dispositivo, y al final la entrada de alimentación DC.

Puesto que se usa un cable USB 3.0 no es necesario conectar la alimentación DC, ya que sobre la conexión se alimenta directamente al USRP con el Ordenador.

La circuitería atraviesa desde la tarjeta madre asignando los valores de reloj y tasa de muestreo para procesar la información del software y convertirla en una señal electromagnética en la tarjeta hija donde se establece la frecuencia a transmitir o a receptar, con su respectiva ganancia a un ancho de banda determinado.

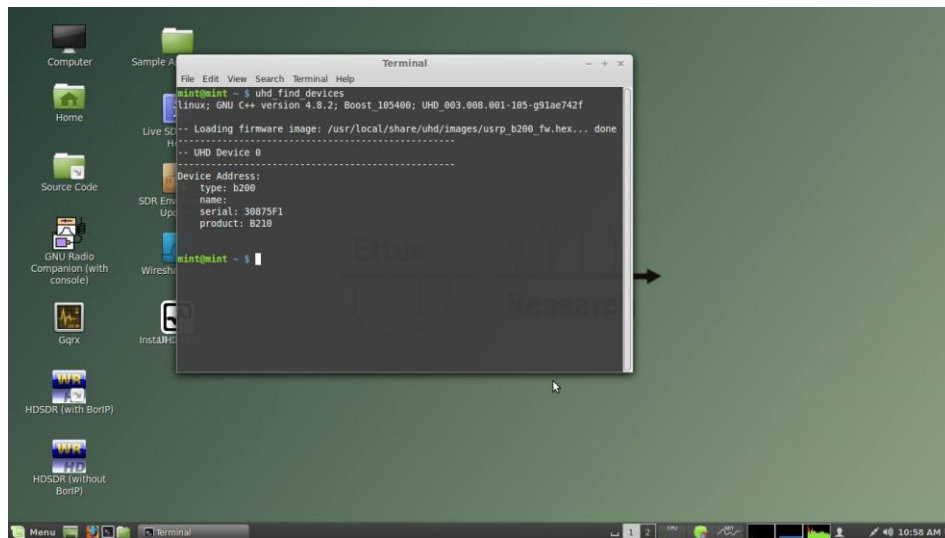




**Figura 5-2.** USRP B210

Fuente: Autor

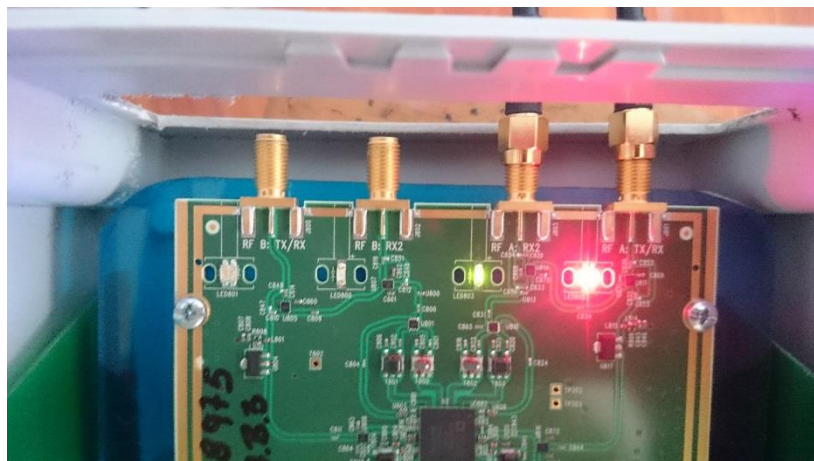
Cuando se conecta el Módulo en el ordenador, para probar la conectividad del mismo, usando el comando `uhd_find_devices` en un terminal de Mint, entonces la terminal muestra la información básica del USRP encontrado.



**Figura 6-2.** Firmware de USRP.

Fuente: Autor

Se identifica con luz roja cuando un terminal está en estado de transmisión y con color verde cuando está en estado de recepción.

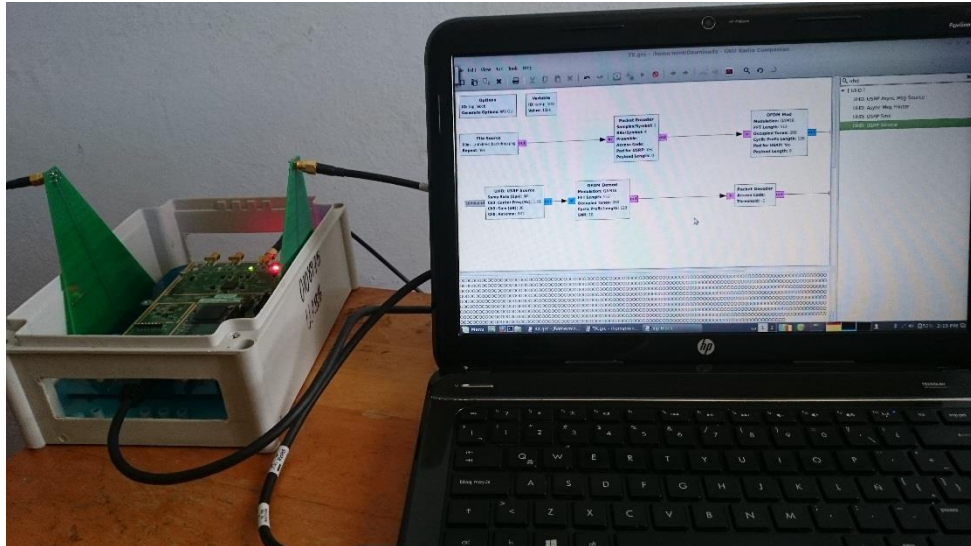


**Figura 7-2.** Terminales A, TX/RX y RX2

Fuente: Autor

Cuando se ejecuta la aplicación la barra de procesos genera las letras O y U, indicando que se está transmitiendo y a la vez se está receptando información.





**Figura 8-2.** Ejecución de la Aplicación.

Fuente: Autor



**Figura 9-2.** USRP Transmisor/Receptor

Fuente: Autor





**Figura 10-2.** USRP Transmisor/Receptor en ejecución  
Fuente: Autor

## 2.3. Diseño de Bloques del Sistema Transmisor en GNU Radio Companion

### 2.3.1. Diagrama de Bloques

Para analizar el comportamiento basándose en el modo de modulación que debe tener el sistema, de esta manera se presentan los siguientes 2 escenarios.

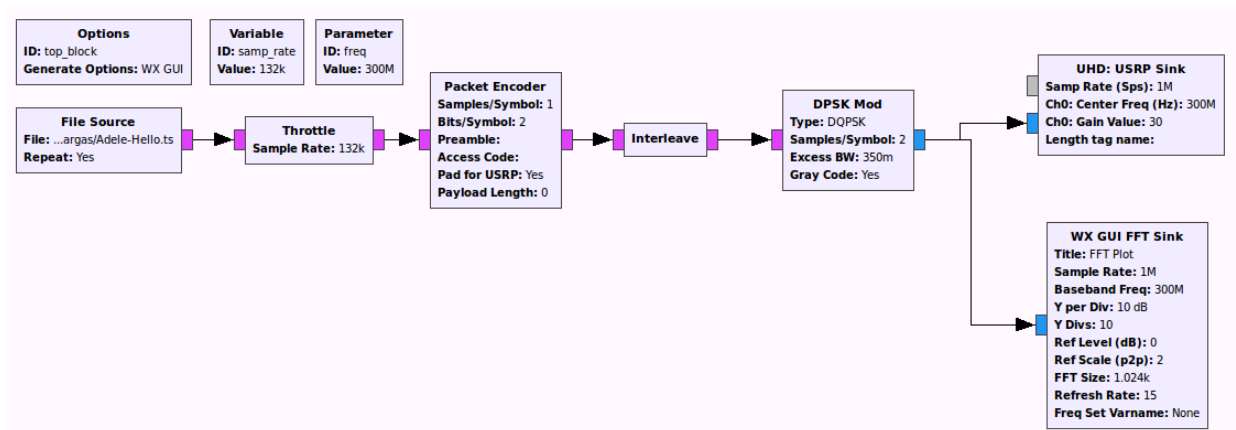
El archivo a ser enviado está en formato TS, este es un formato de video ampliamente usado en Sistemas Operativos Libres, además es compatible con Mpeg2. El Bloque denominado Options establece la generación de gráficas, la tasa de muestreo está definido por el bloque Variable sample rate y la frecuencia de operación por el parámetro freq.

Throttle se declara cuando es necesario hacer una transmisión en tiempo real, además procesa el archivo de trama en trama y no por completo, también ayuda a descongestionar el alto rendimiento que puede alcanzar el procesador y la memoria del ordenador. Dependiendo de cada tipo de modulación se realiza el mapeo de los datos a fin de codificar los bits que deben ser de 2 símbolos para DQPSK y QSPK.

Una vez codificado se usa un proceso de Interleave para desordenar los paquetes de tal manera que este da forma aleatoria y no forma contigua; este proceso ayuda a la corrección de errores.

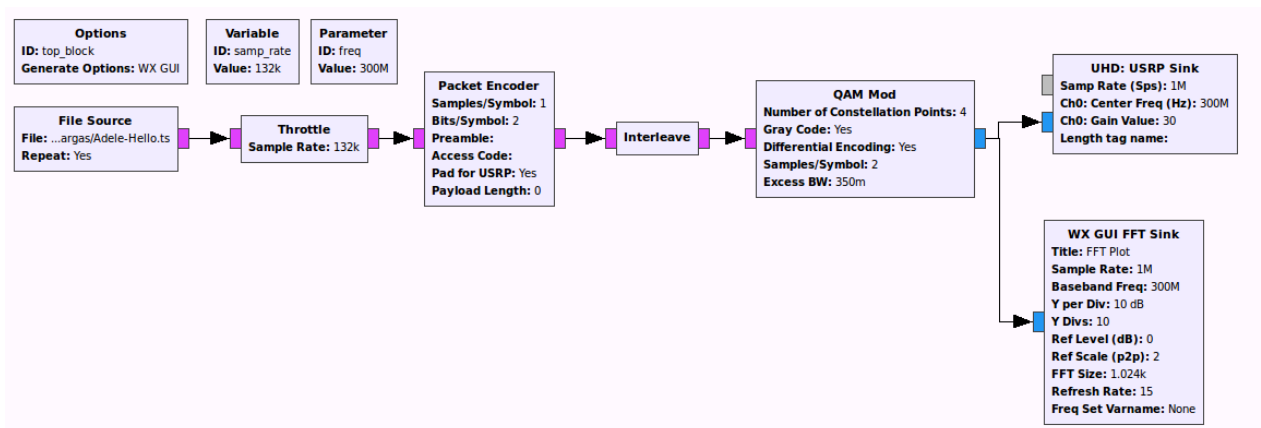
Las modulaciones a usar son DQPSK y QPSK. Para observar el comportamiento en tiempo, frecuencia y constelación se usan los bloques de Scope y FFT Sink. Cuando se convierte las señales en energía electromagnética a través del módulo USRP el bloque UHD declara como se realiza el muestreo de la información a ser enviada, se declara la frecuencia central, la ganancia, y la antena que se va a usar.

## DQPSK



**Figura 11-2.** Transmisor DQPSK  
Fuente: Autor

## QPSK



**Figura 12-2.** Transmisor QPSK  
Fuente: Autor

### 2.3.2. Montaje del Diseño del Transmisor al USRP



**Figura 13-2.** Estado de Transmisión

Fuente: Autor

## 2.4. Diseño de Bloques del Sistema Receptor en GNU Radio Companion

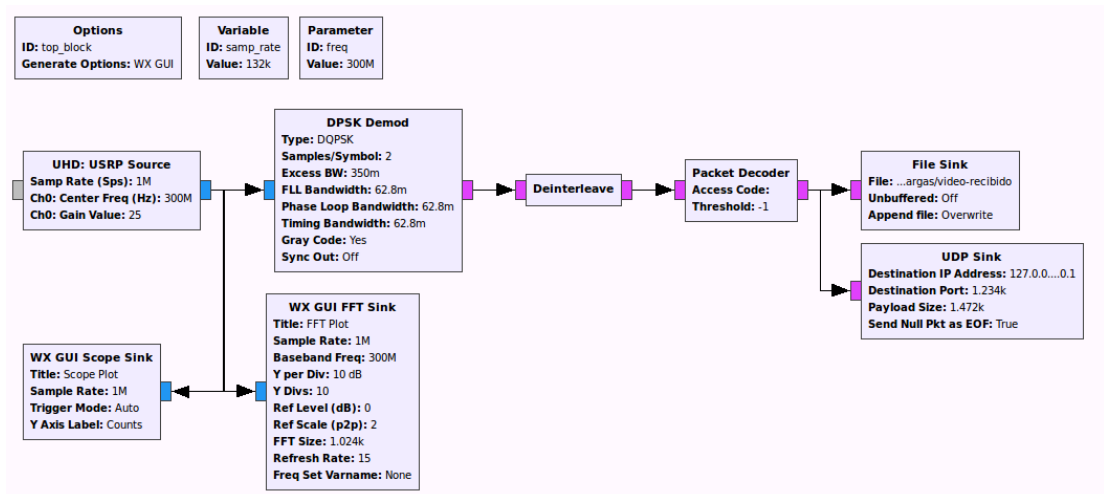
### 2.4.1. Diagrama de Bloques

Los escenarios que se muestran a continuación pertenecen respectivamente a cada transmisor.

El Receptor USRP recibe la información en la misma frecuencia en la antena RX2 con su propia ganancia, es entonces que la demodulación mapea los símbolos según su configuración. El segmento de deinterleave ordena los paquetes puesto que estos han sido aleatorizados.

El decodificador interpreta automáticamente los datos que a este llegan porque la demodulación ya le entrega los símbolos pertinentes. Finalmente se escribe un archivo en el destino que contiene la información obtenida del espacio libre.

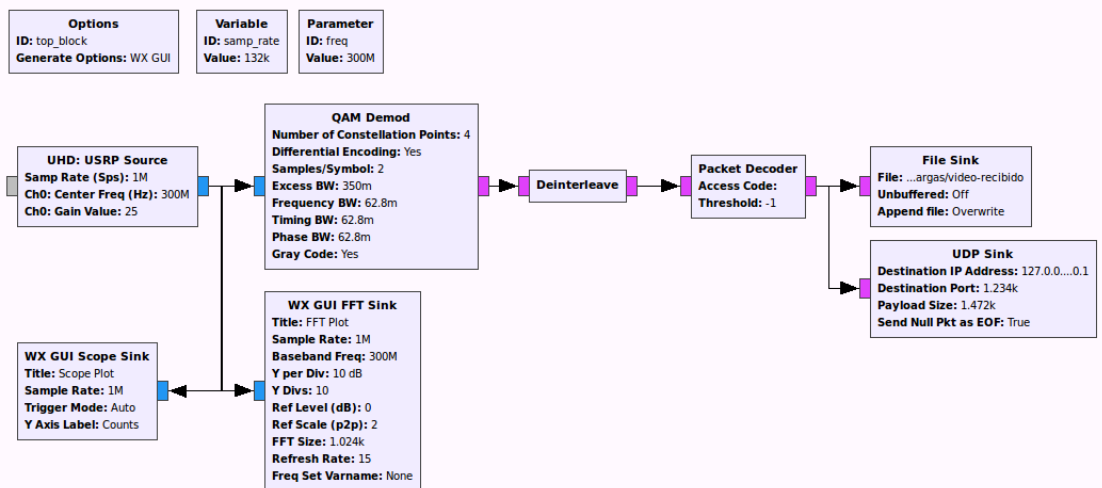
## DQPSK



**Figura 14-2.** Receptor DQPSK

Fuente: Autor

## QPSK



**Figura 15-2.** Receptor QPSK

Fuente: Autor

#### 2.4.2. Montaje del Diseño del Receptor al USRP



**Figura 16-2.** Estado de Recepción  
Fuente: Autor

## CAPÍTULO III

### 3. PRUEBAS DEL SISTEMA Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Pruebas de Transmisión y Recepción

Se presentan 2 situaciones para las pruebas en tiempo real con los terminales TX/RX y RX2, en la primera etapa se usa una conexión de cable directa; pero en la segunda etapa se colocan 2 antenas respectivamente separadas a pocos centímetros puesto que estas son bastante directivas. Como se va a usar las modulaciones DQPSK y QPSK, los diseños del transmisor y receptor se analizan sobre 10 frecuencias centrales, y así se determina si la propagación de las señales llega a cumplirse, además se calcula la tasa de errores de bit (BER) para estipular como es afectada la calidad de las señales.

A. Primera Etapa: Conexión directa de TX/RX con RX2 mediante cable ASSY

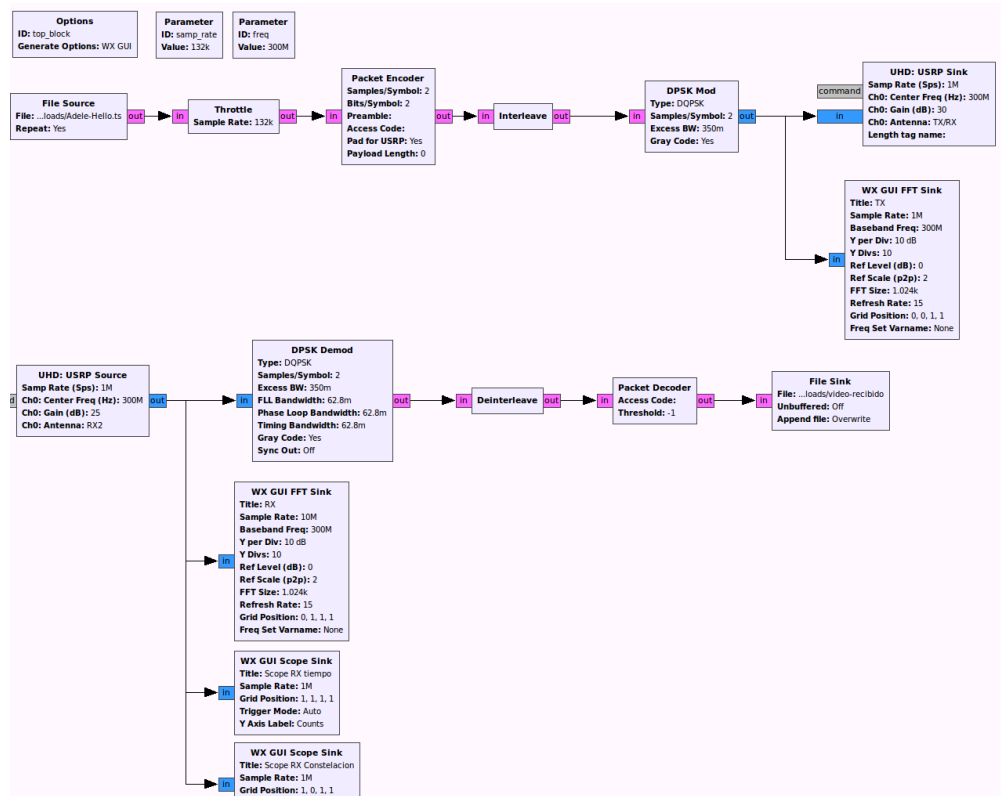
##### 3.1.1. Transmisión / Recepción DQPSK a 300 MHz, conexión directa

**Tabla 1-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 300 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	300 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

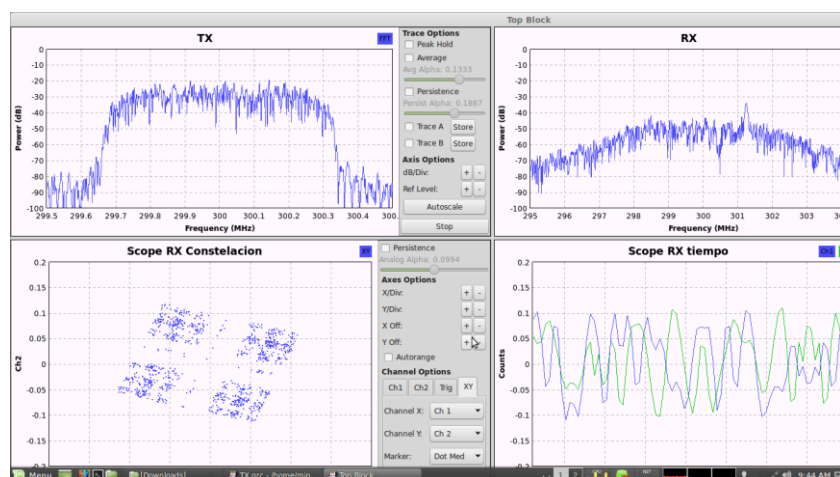
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



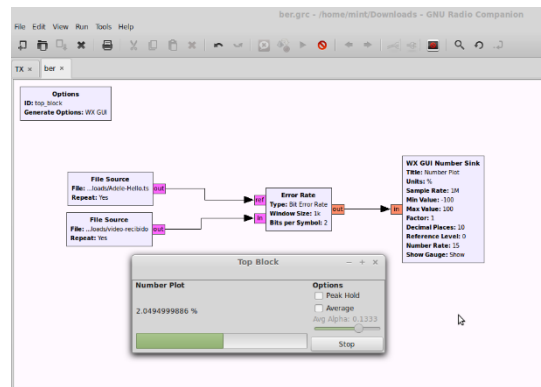
**Figura 1-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 300 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 300 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 2-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.049% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 3-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 4-3.** Video Recibido, DQPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

### 3.1.2. Transmisión / Recepción DQPSK a 400 MHz, conexión directa

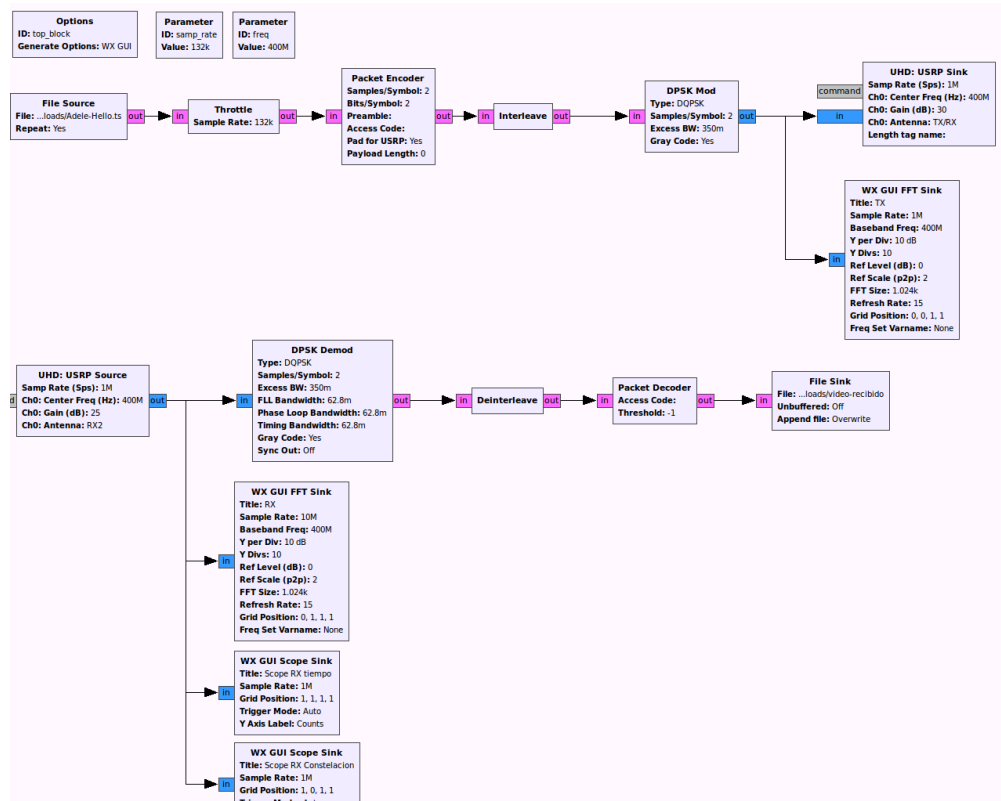
**Tabla 2-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 400 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	400 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

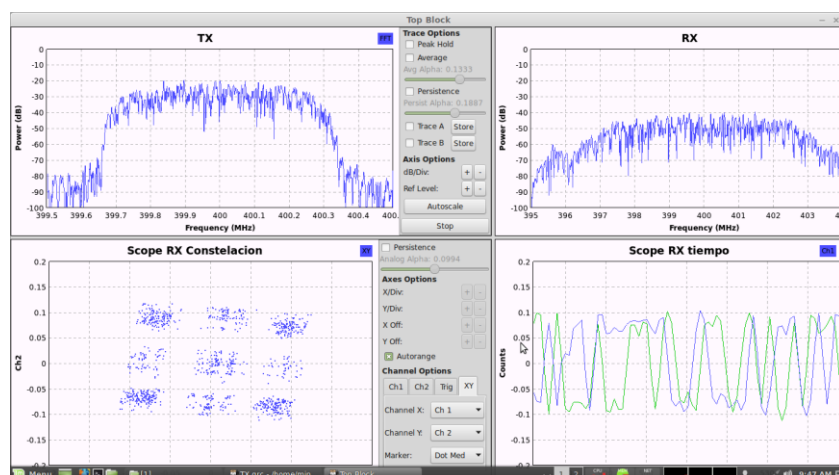
El modelo de ejecución se muestra a continuación:





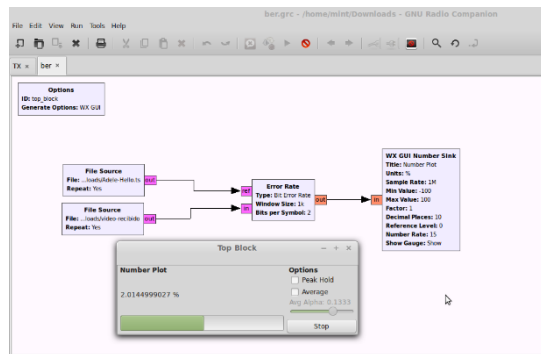
**Figura 5-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 400 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 400 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación



**Figura 6-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.014% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 7-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 8-3.** Video Recibido, DQPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

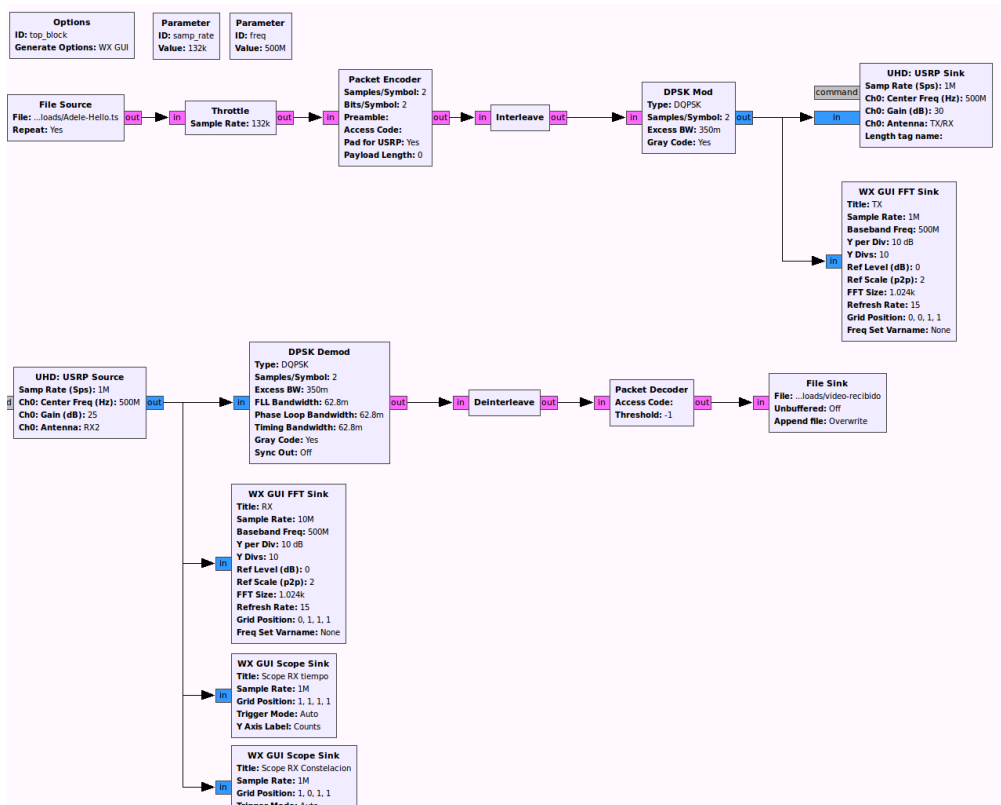
### 3.1.3. Transmisión / Recepción DQPSK a 500 MHz, conexión directa

**Tabla 3-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 500 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	500 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

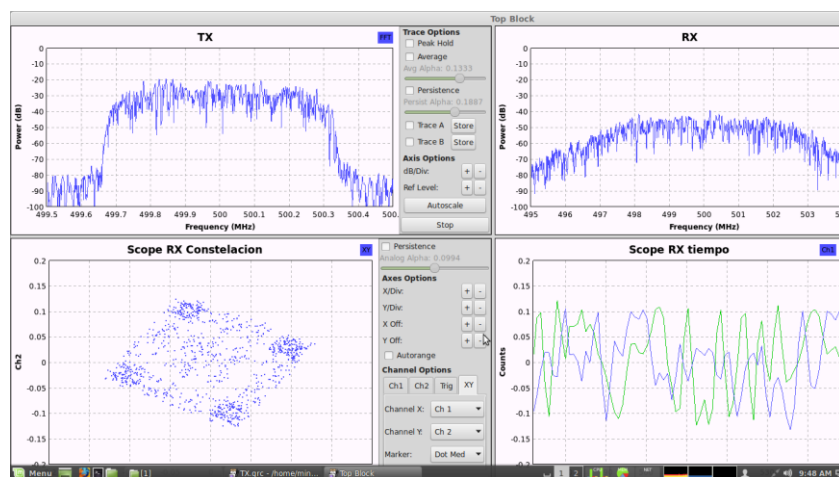
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



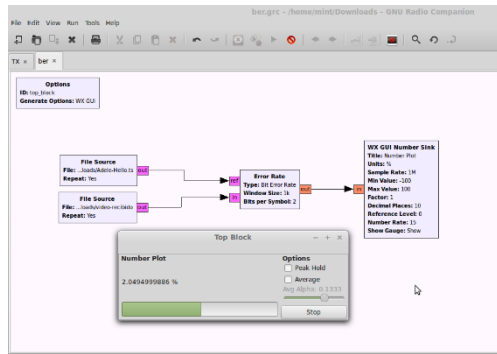
**Figura 9-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 500 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 500 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación



**Figura 10-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.044% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 11-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 12-3.** Video Recibido, DQPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

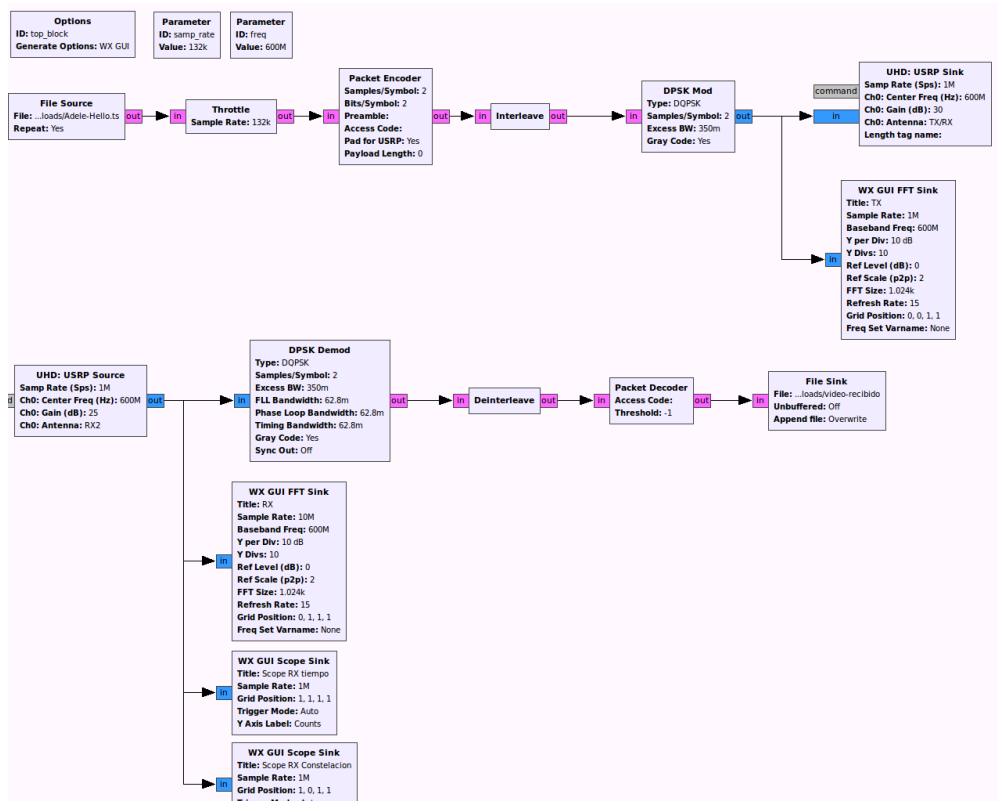
### 3.1.4. Transmisión / Recepción DQPSK a 600 MHz, conexión directa

**Tabla 4-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 600 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	600 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

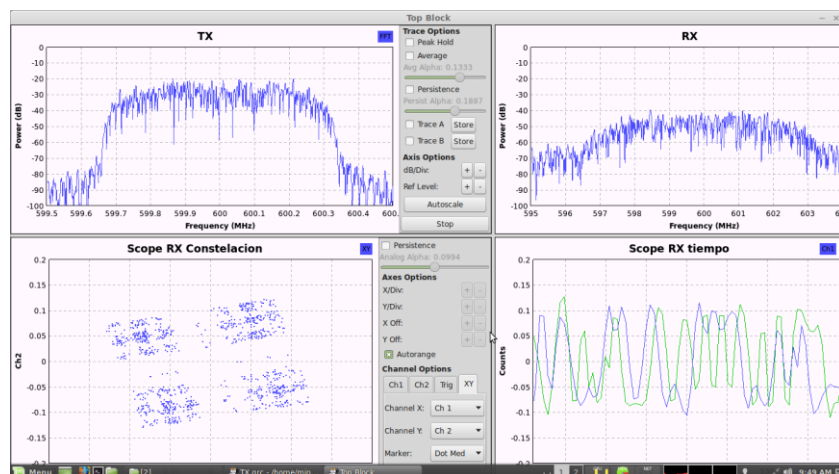
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



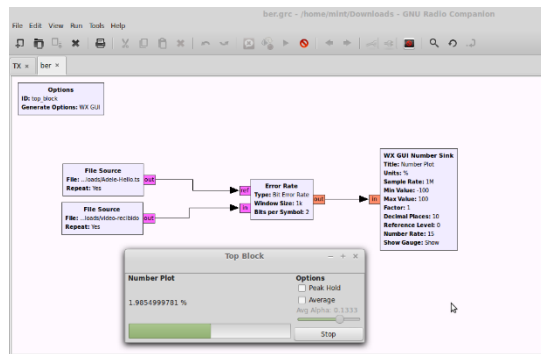
**Figura 13-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 600 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 600 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 14-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.985% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 15-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 16-3.** Video Recibido, DQPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

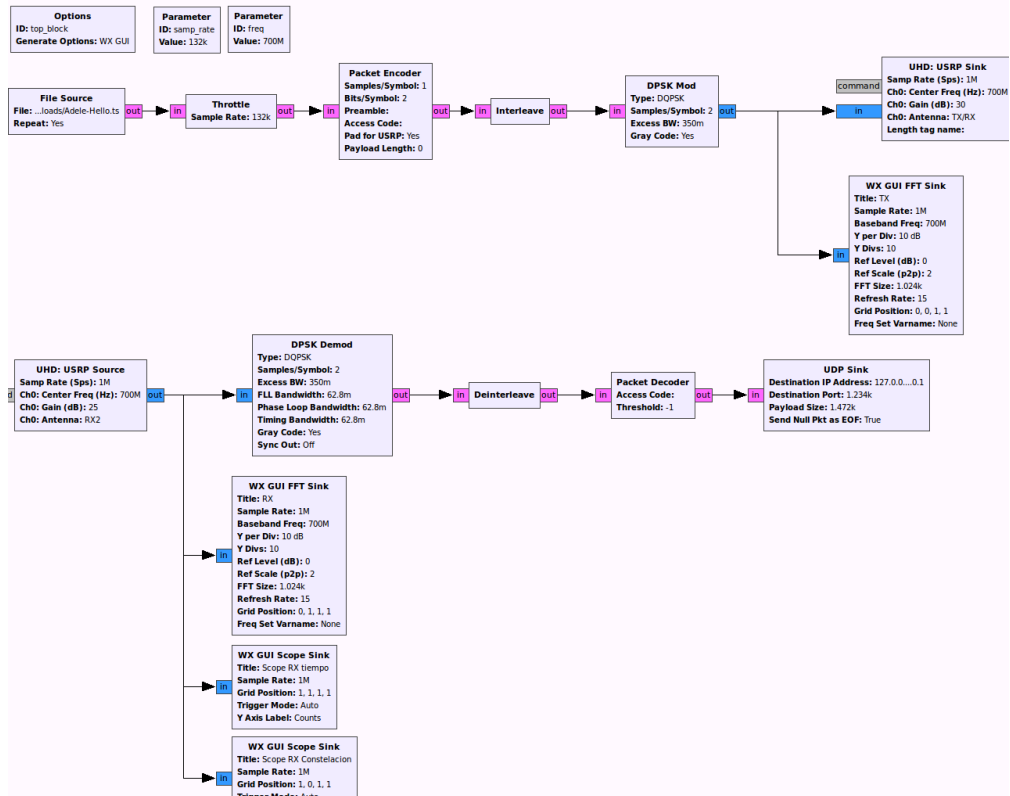
### 3.1.5. Transmisión / Recepción DQPSK a 700 MHz, conexión directa

**Tabla 5-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 700 MHz.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	700 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

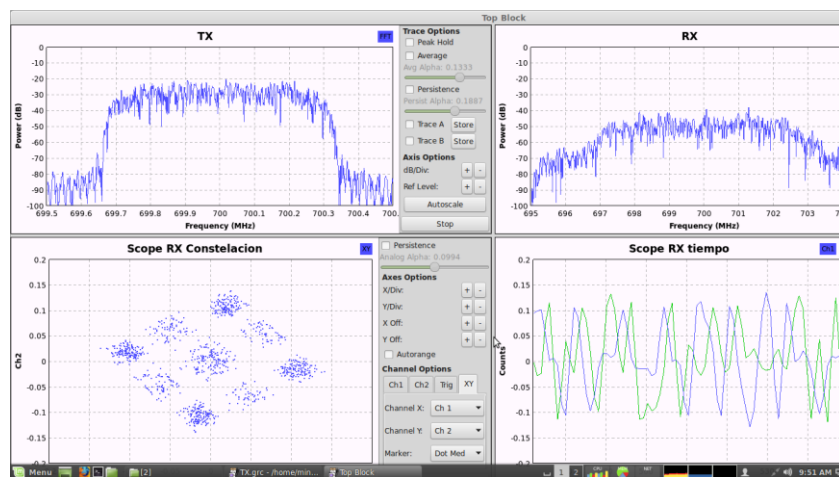
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



**Figura 17-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 700 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 700 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.

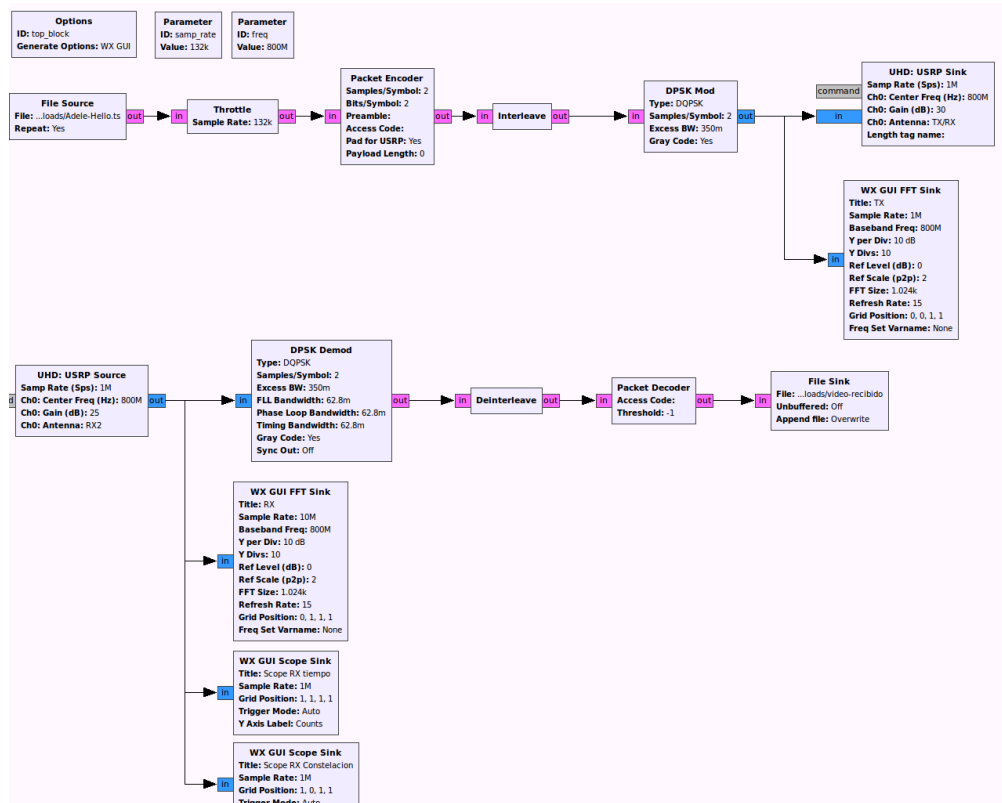


**Figura 18-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 700 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.080% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:

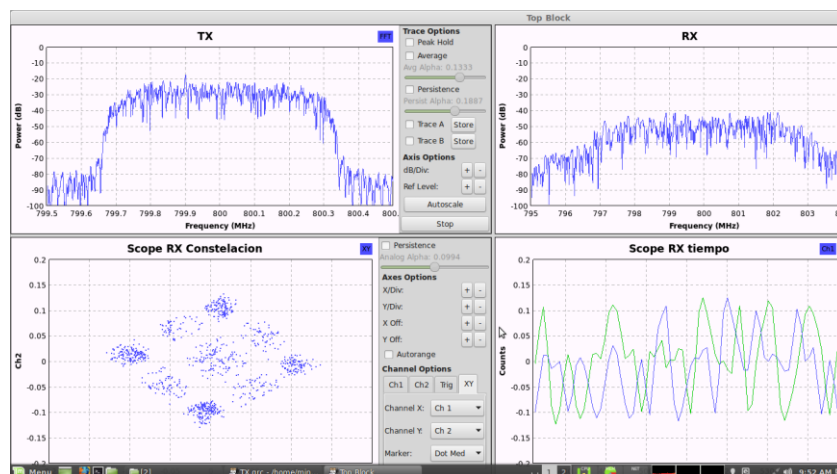






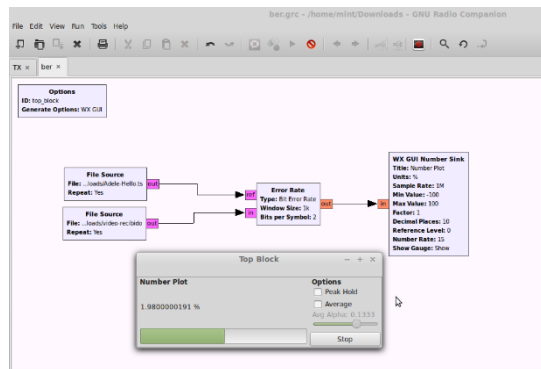
**Figura 21-3.-** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 800 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 800 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



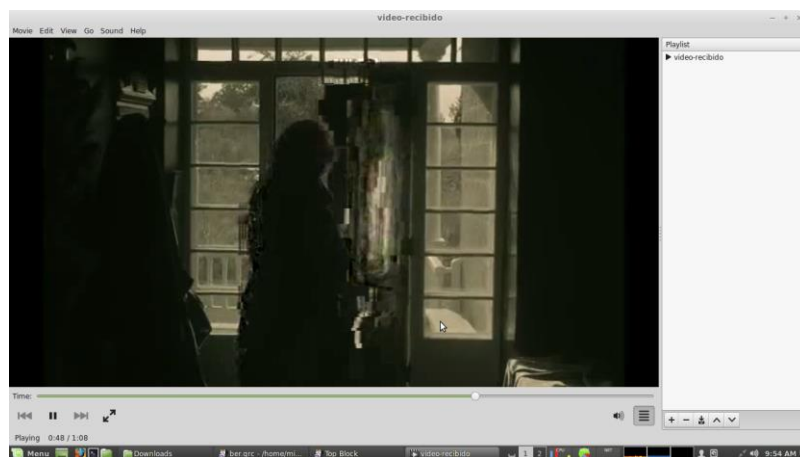
**Figura 22-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.980% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 23-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 24-3.** Video Recibido, DQPSK a 800 MH  
Fuente: Autor

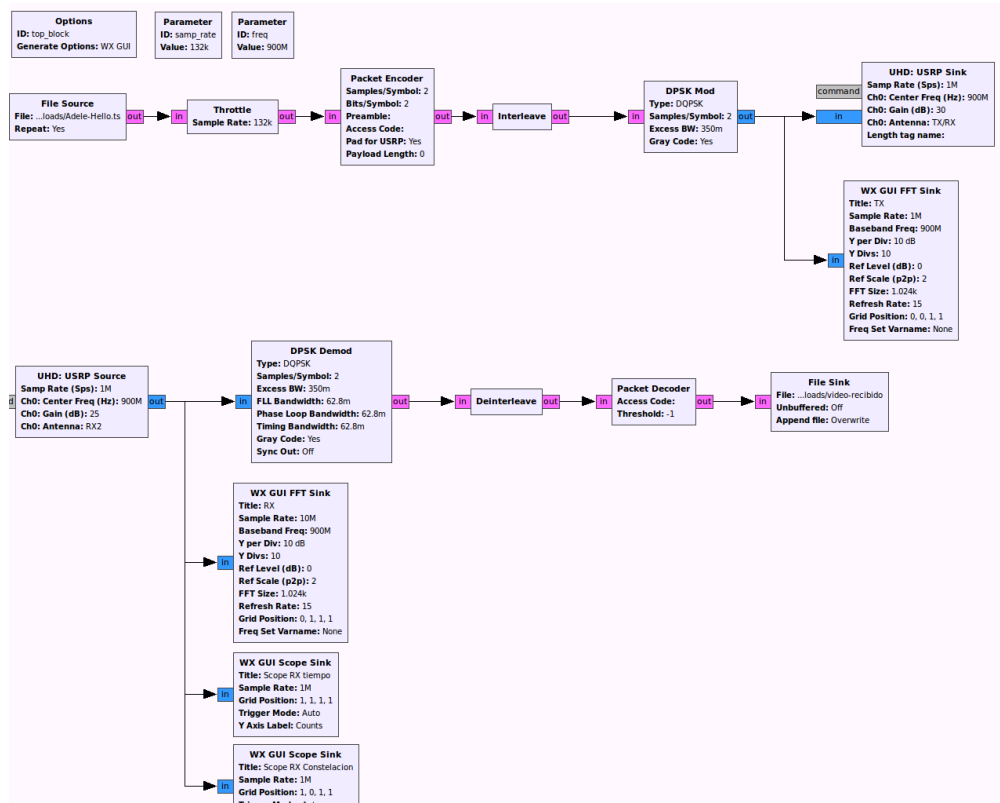
### 3.1.7. Transmisión / Recepción DQPSK a 900 MHz, conexión directa

**Tabla 7-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 900 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	900 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

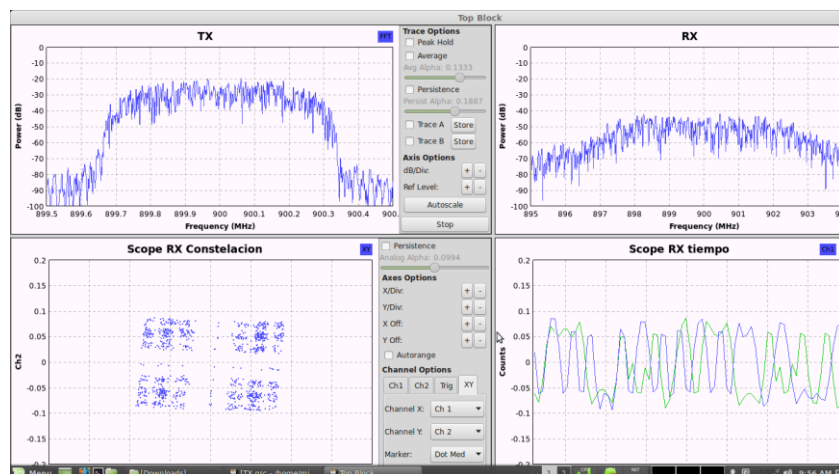
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



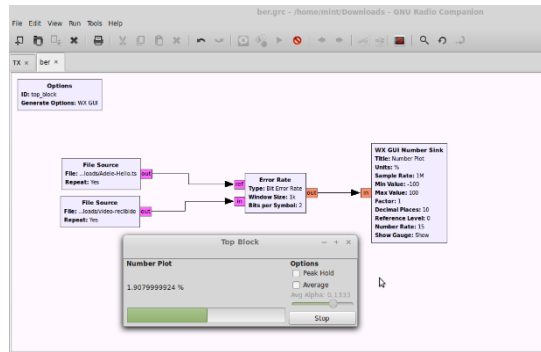
**Figura 25-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 900 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 900 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 26-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.908% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 27-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 28-3.** Video Recibido, DQPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

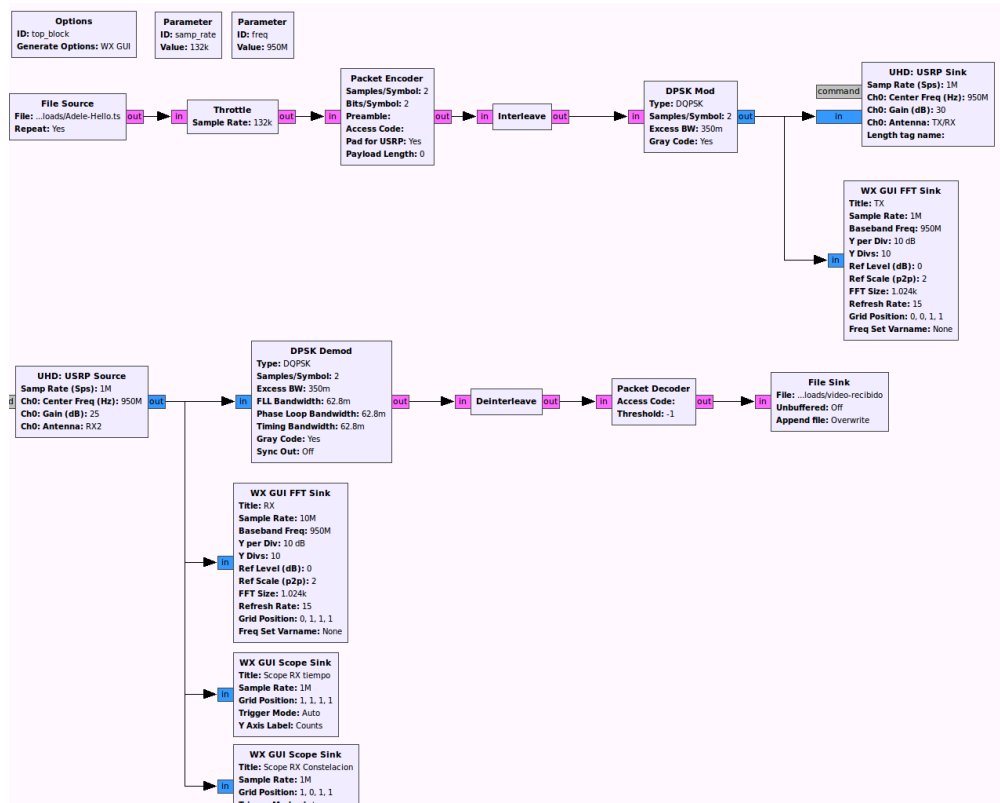
### 3.1.8. Transmisión / Recepción DQPSK a 950 MHz, conexión directa

**Tabla 8-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 950 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	950 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

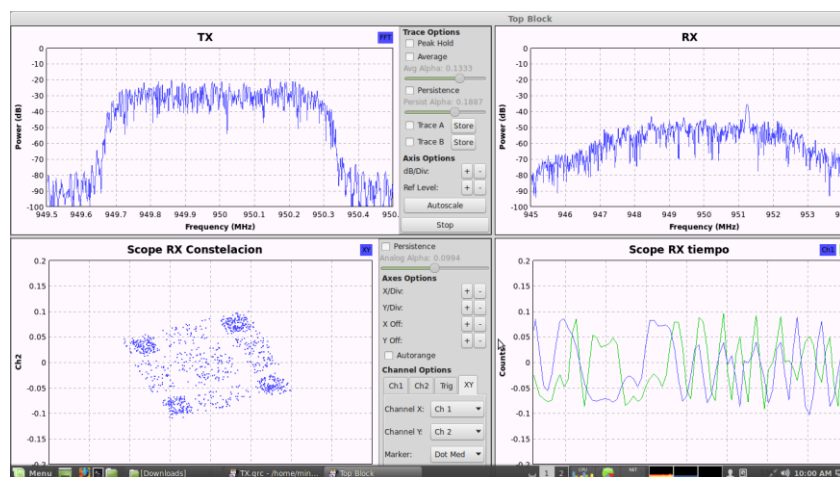
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



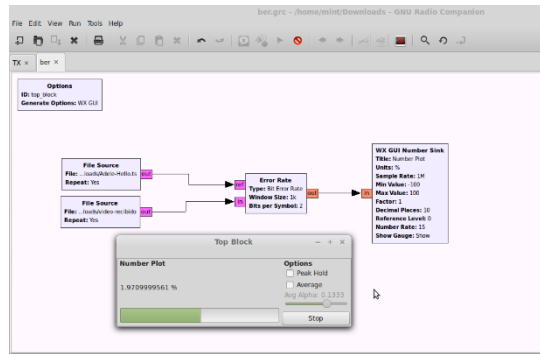
**Figura 29-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 950 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 950 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 30-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.971% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 31-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 950 MHz.  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 32-3.** Video Recibido, DQPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

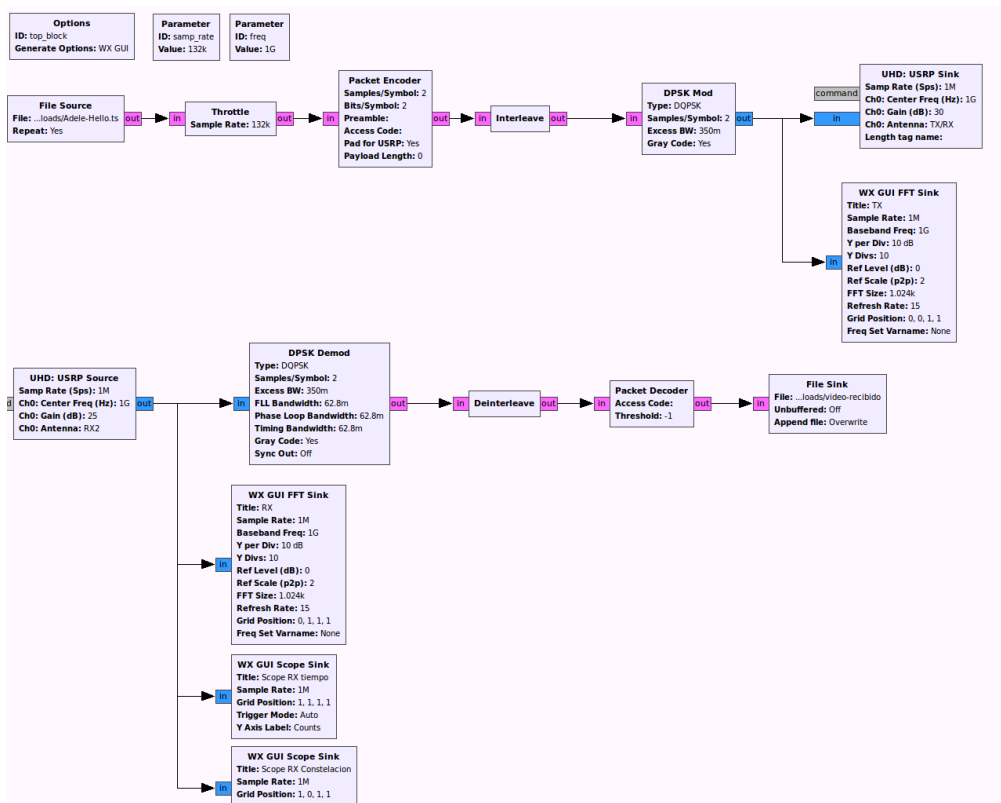
### 3.1.9. Transmisión / Recepción DQPSK a 1 GHz, conexión directa

**Tabla 9-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 1 GHz.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	1 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

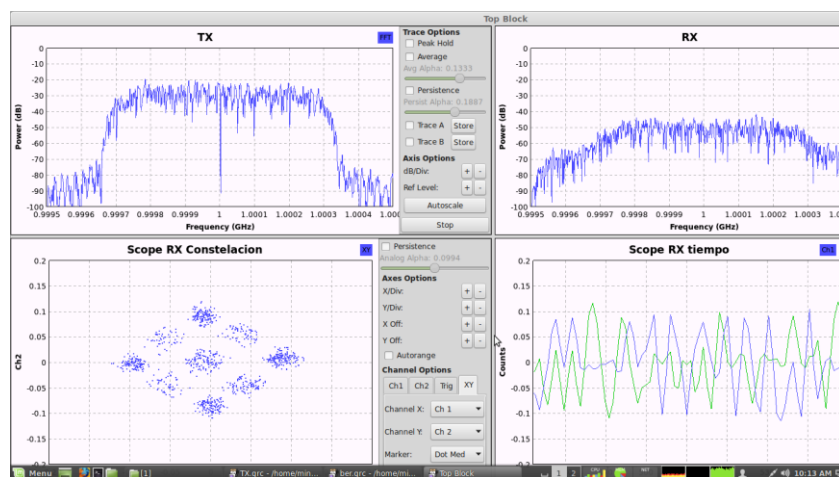
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



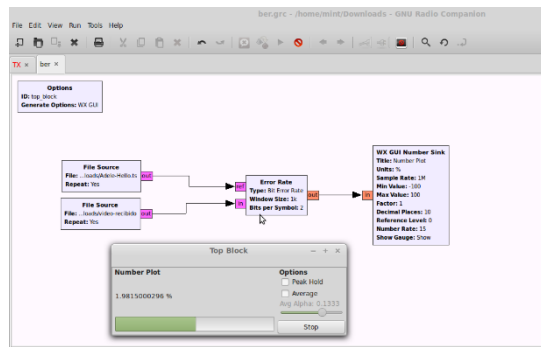
**Figura 33-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 1 GHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 34-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.981% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 35-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 36-3.** Video Recibido, DQPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

### 3.1.10. Transmisión / Recepción DQPSK a 1.2 GHz, conexión directa

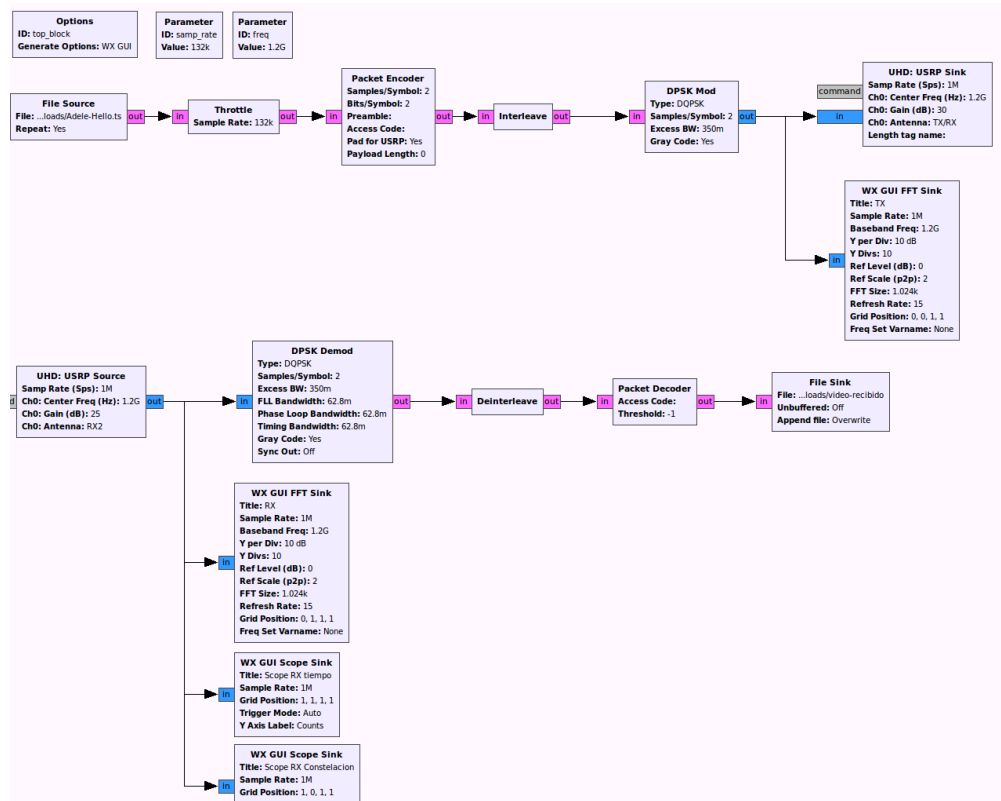
**Tabla 10-3:** Parámetros de operación sistema DQPSK a 1.2 GHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	1.2 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

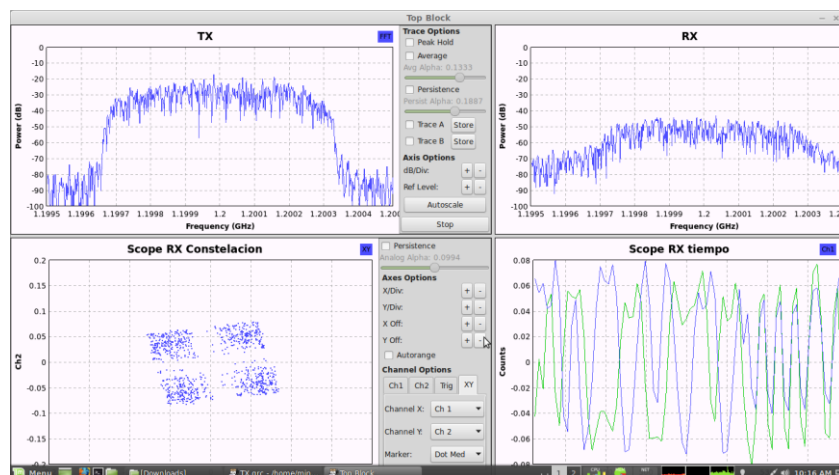
El modelo de ejecución se muestra a continuación:





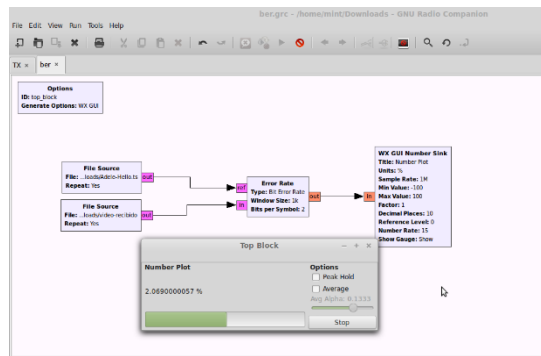
**Figura 37-3.** Transmisión y Recepción DQPSK con frecuencia central de 1.2 GHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1.2 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 38-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, DQPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.069% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 39-3.** Bit Error Rate (BER), DQPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 40-3.** Video Recibido, DQPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

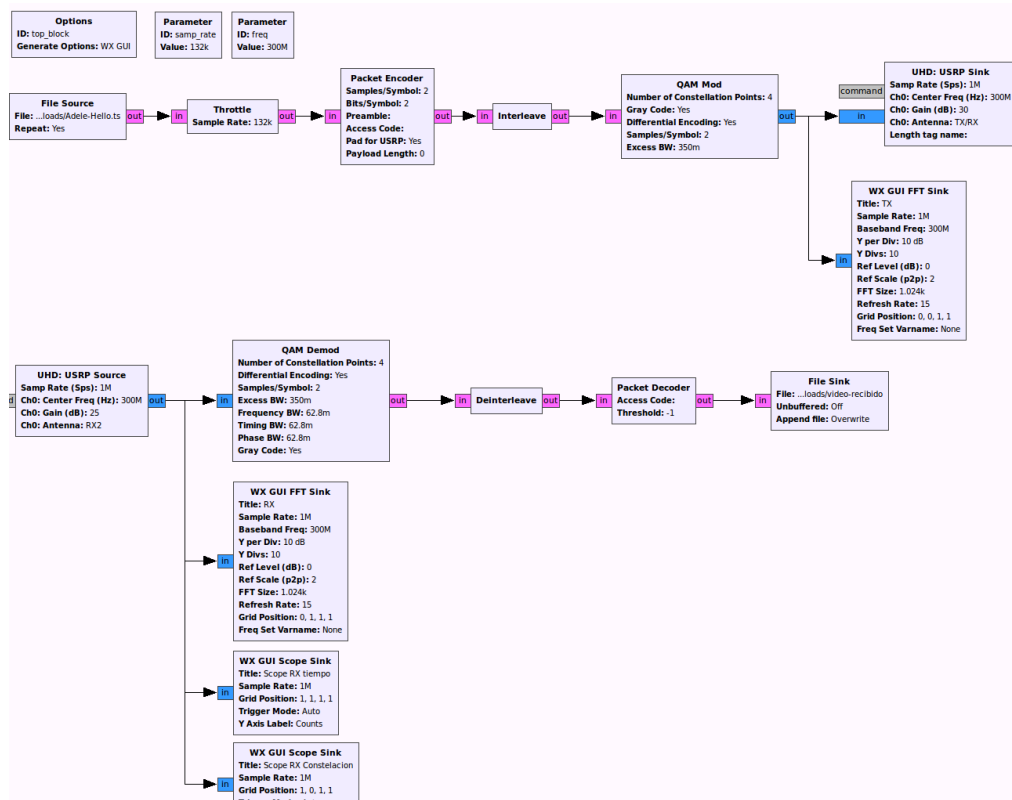
### 3.1.11. Transmisión / Recepción QPSK a 300 MHz, conexión directa

**Tabla 11-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 300 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	300 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

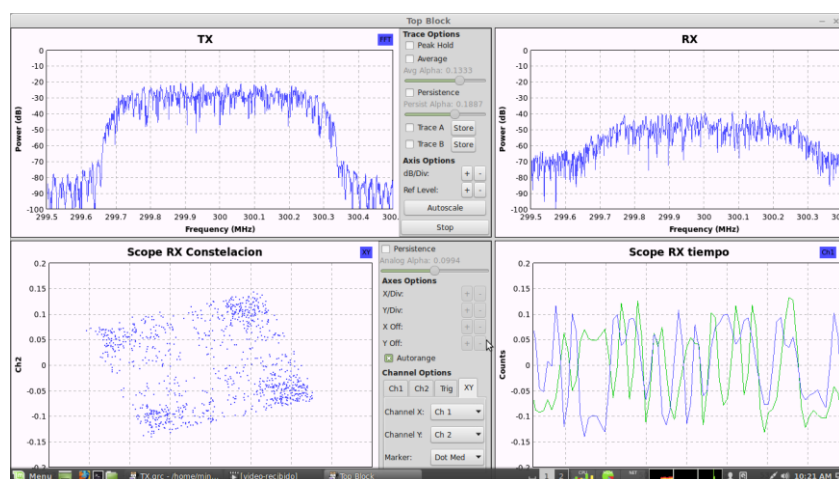
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



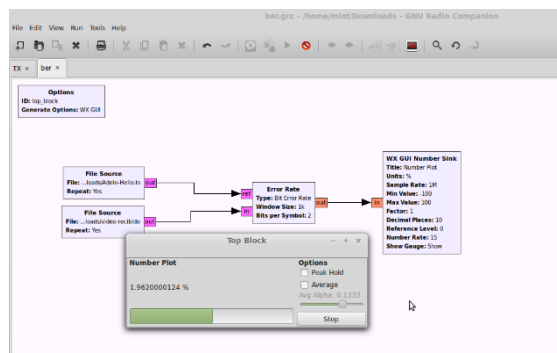
**Figura 41-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 300 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 300 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 42-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.962% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 43-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 44-3.** Video Recibido, QPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

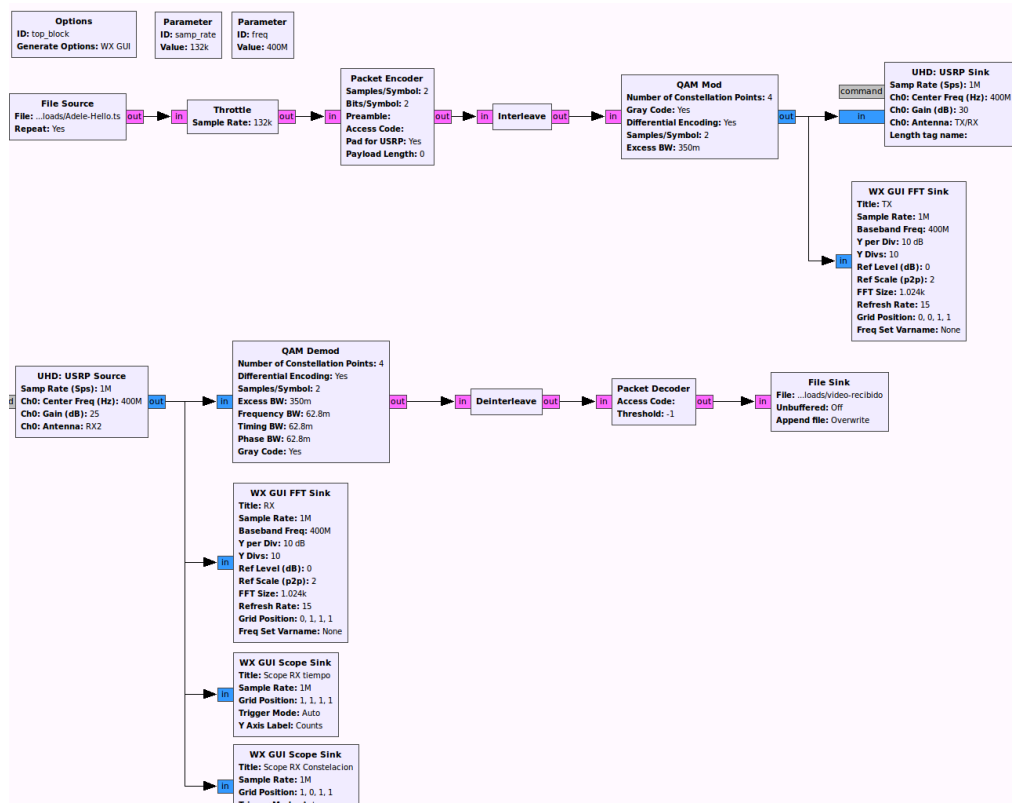
### 3.1.12. Transmisión / Recepción QPSK a 400 MHz, conexión directa

**Tabla 12-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 400 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	400 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

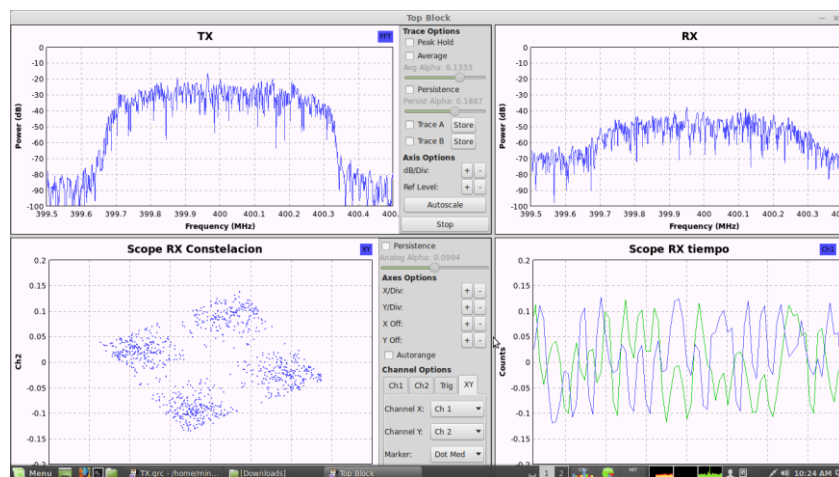
**Realizado por:** El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



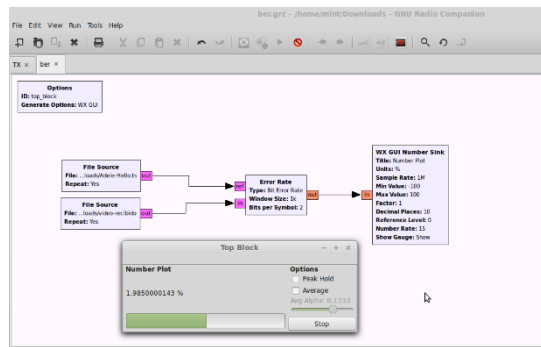
**Figura 45-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 400 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 400 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 46-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.985% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 47-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 48-3.** Video Recibido, QPSK a 400 MHz.  
Fuente: Autor

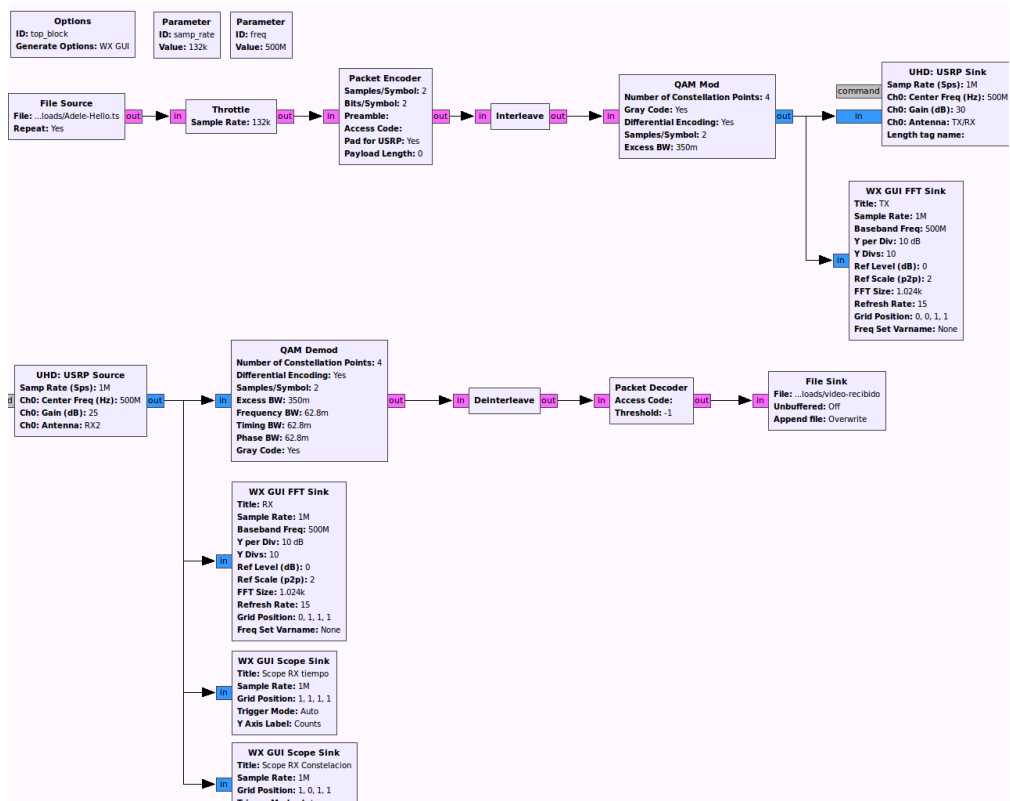
### 3.1.13. Transmisión / Recepción QPSK a 500 MHz, conexión directa

**Tabla 13-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 500 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	500 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

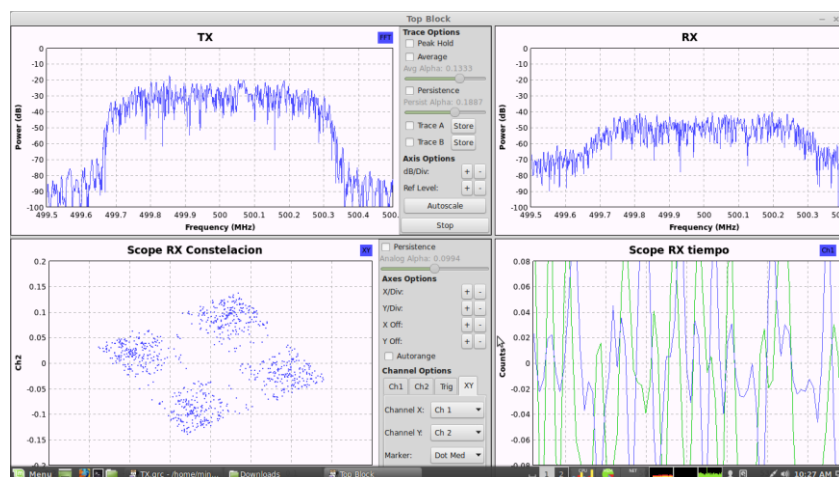
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



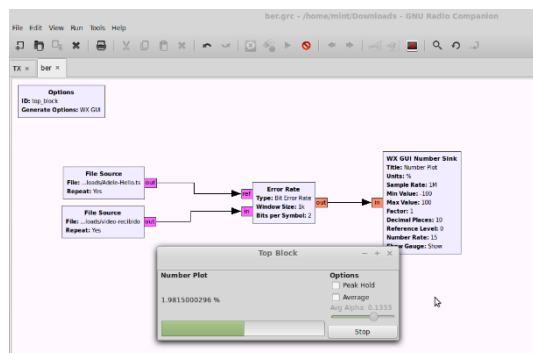
**Figura 49-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 500 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 500 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 50-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 500 MHz.  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.981% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 51-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 52-3.** Video Recibido, QPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

### 3.1.14. Transmisión / Recepción QPSK a 600 MHz, conexión directa

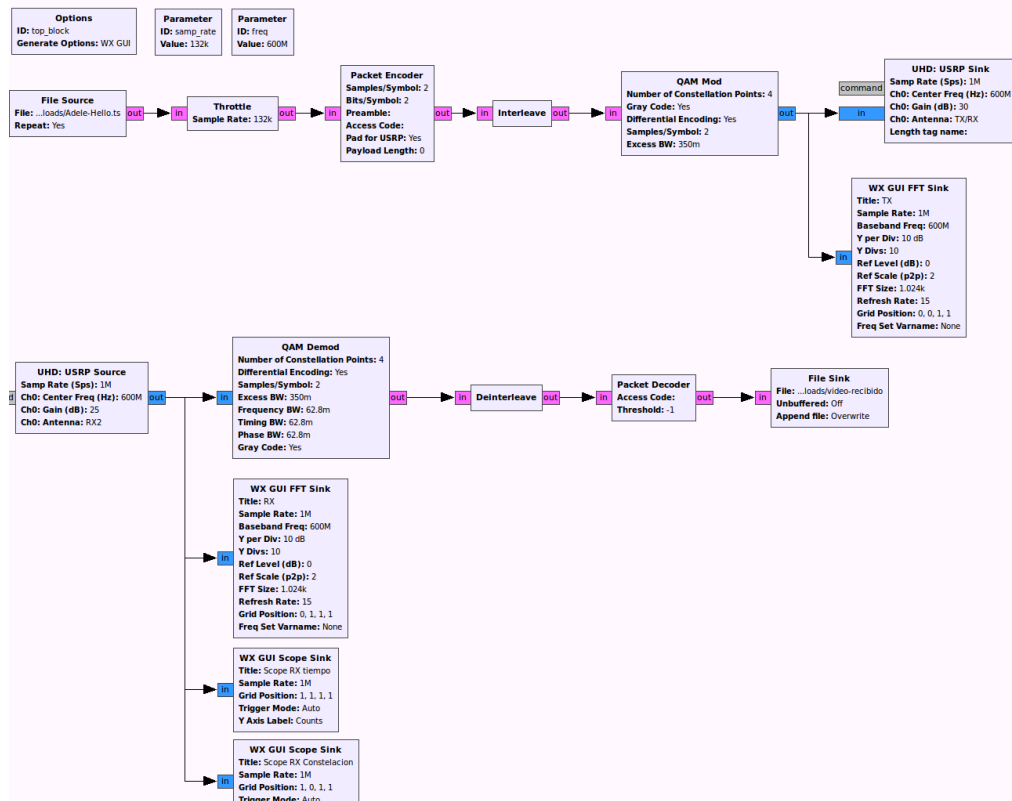
**Tabla 14-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 600 MHz.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	600 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

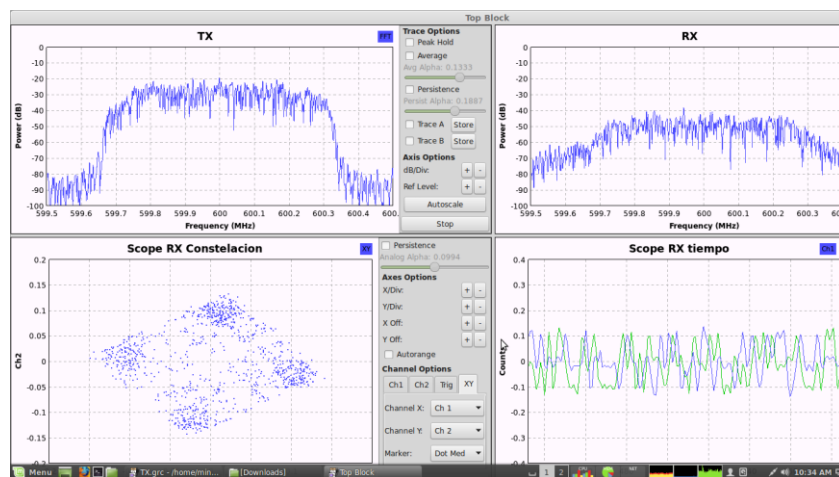
El modelo de ejecución se muestra a continuación:





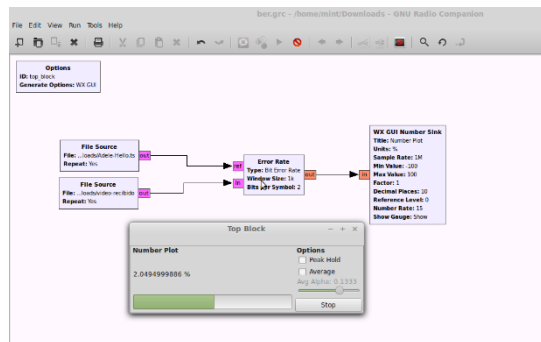
**Figura 53-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 600 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 600 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 54-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.049% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 55-3.-** Bit Error Rate (BER), QPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 56-3.** Video Recibido, QPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

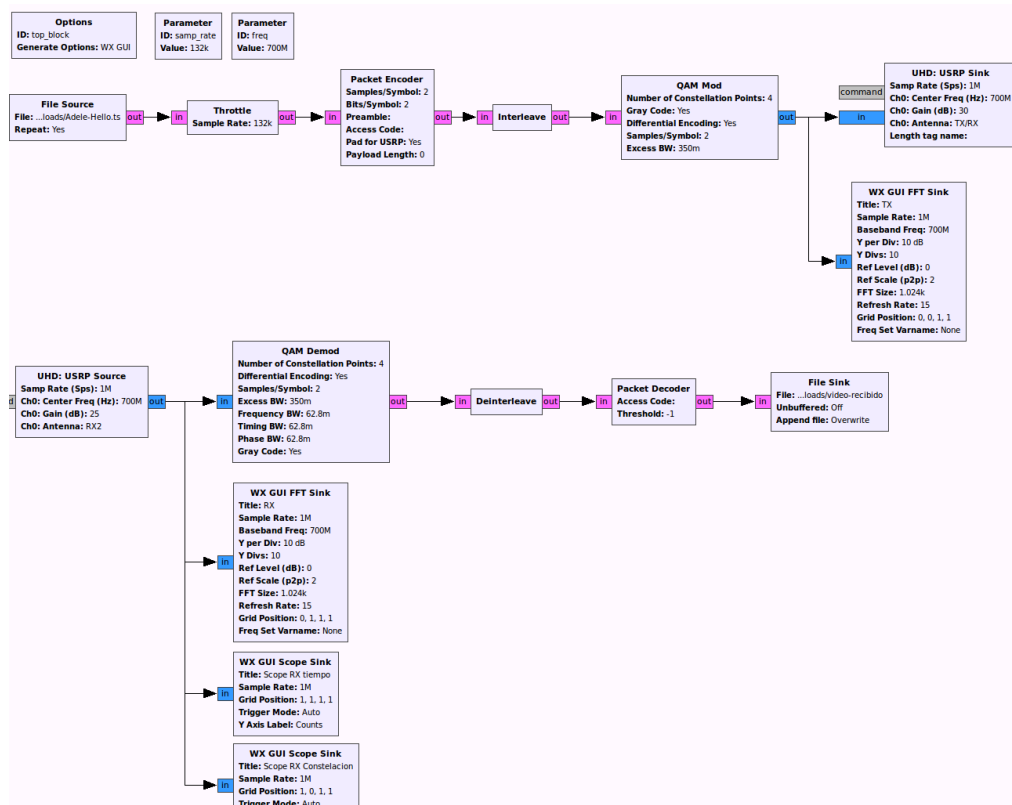
### 3.1.15. Transmisión / Recepción QPSK a 700 MHz, conexión directa

**Tabla 15-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 700 MHz.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	700 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

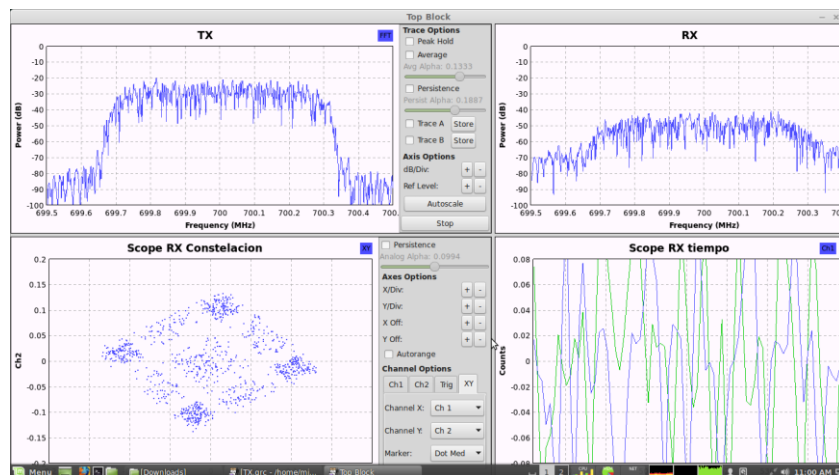
El modelo de ejecución se muestra a continuación:



**Figura 57-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 700 MHz

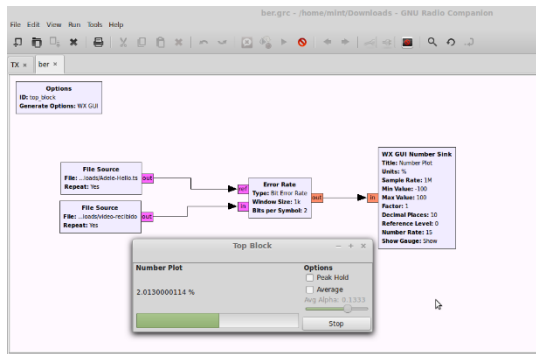
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 700 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 58-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 700 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.013% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 59-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 700 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 60-3.** Video Recibido, QPSK a 700 MHz  
Fuente: Autor

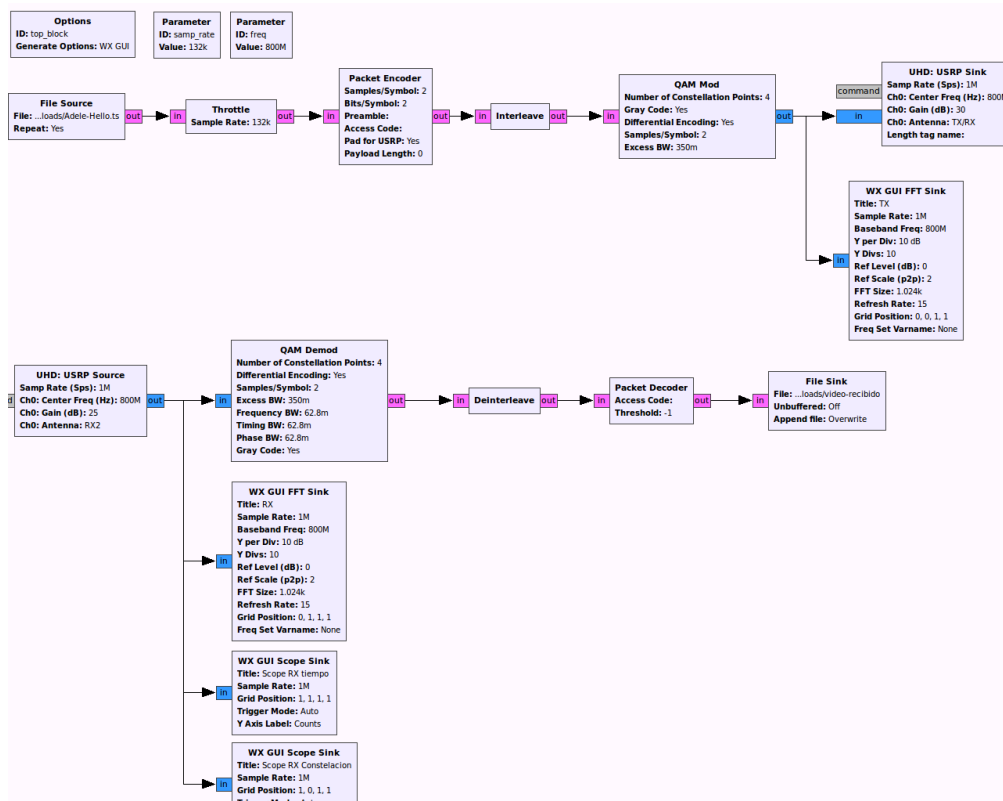
### 3.1.16. Transmisión / Recepción QPSK a 800 MHz, conexión directa

**Tabla 16-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 800 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	800 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

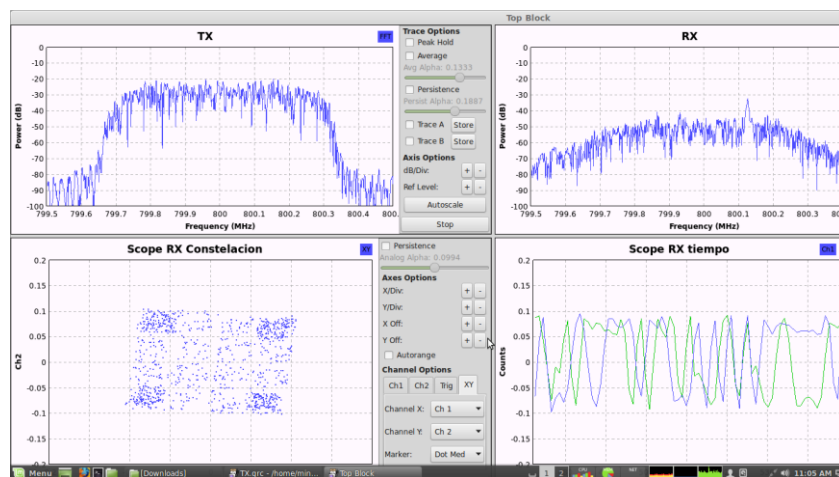
**Realizado por:** El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



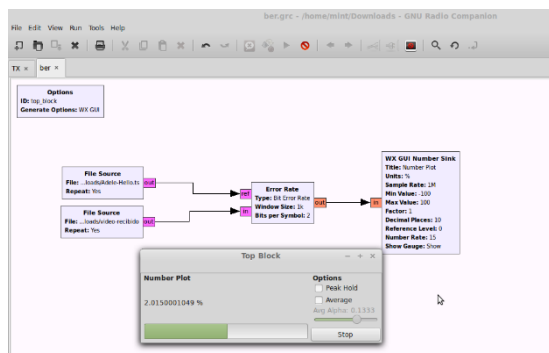
**Figura 61-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 800 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 800 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 62-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.015% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 63-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 64-3.** Video Recibido, QPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

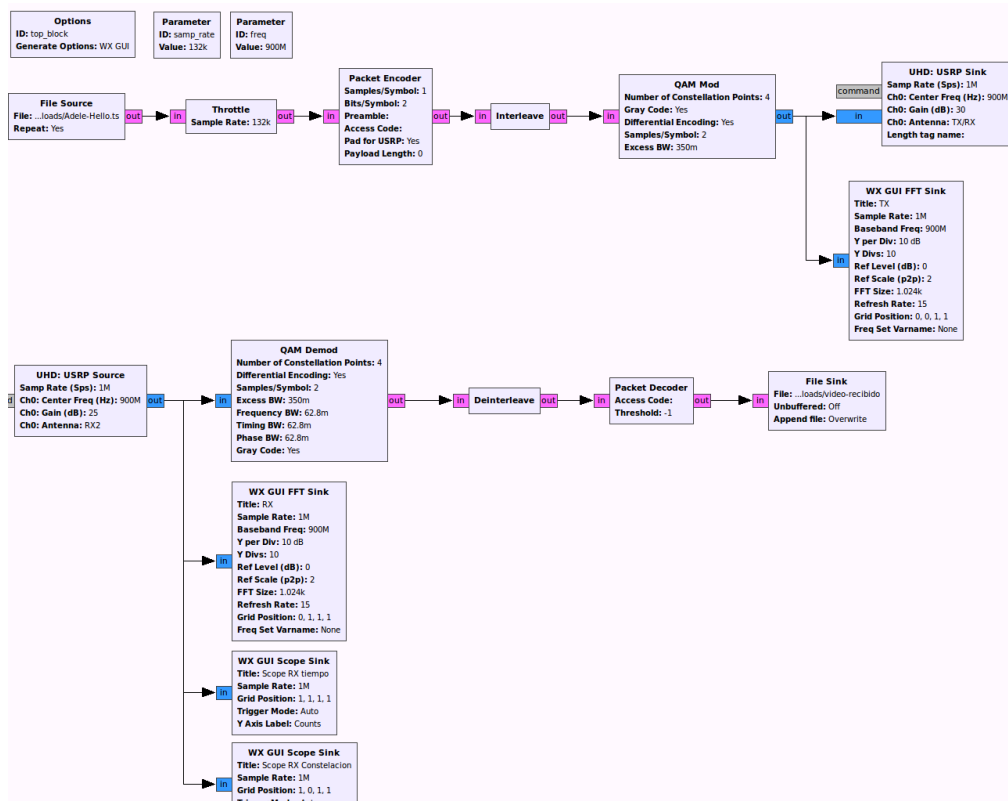
### 3.1.17. Transmisión / Recepción QPSK a 900 MHz, conexión directa

**Tabla 17-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 900 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	900 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

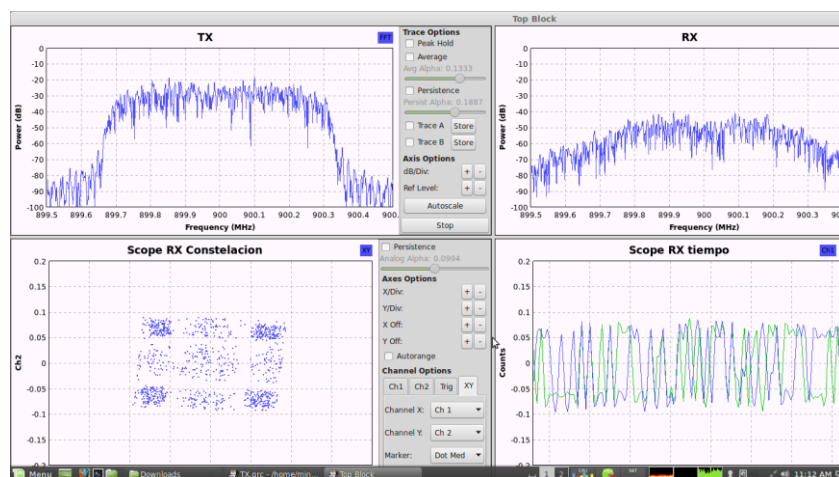
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



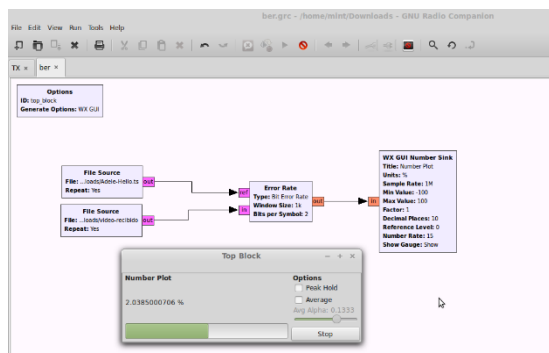
**Figura 65-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 900 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 900 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



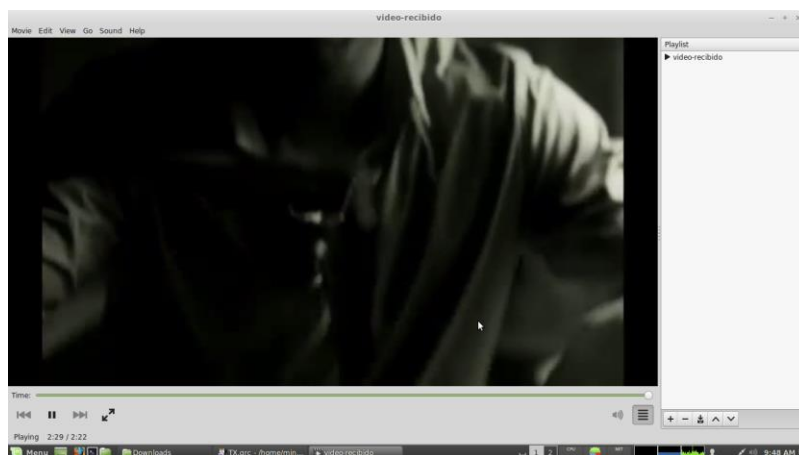
**Figura 66-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.039% de pérdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 67-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 68-3.** Video Recibido, QPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

### 3.1.18. Transmisión / Recepción QPSK a 950 MHz, conexión directa

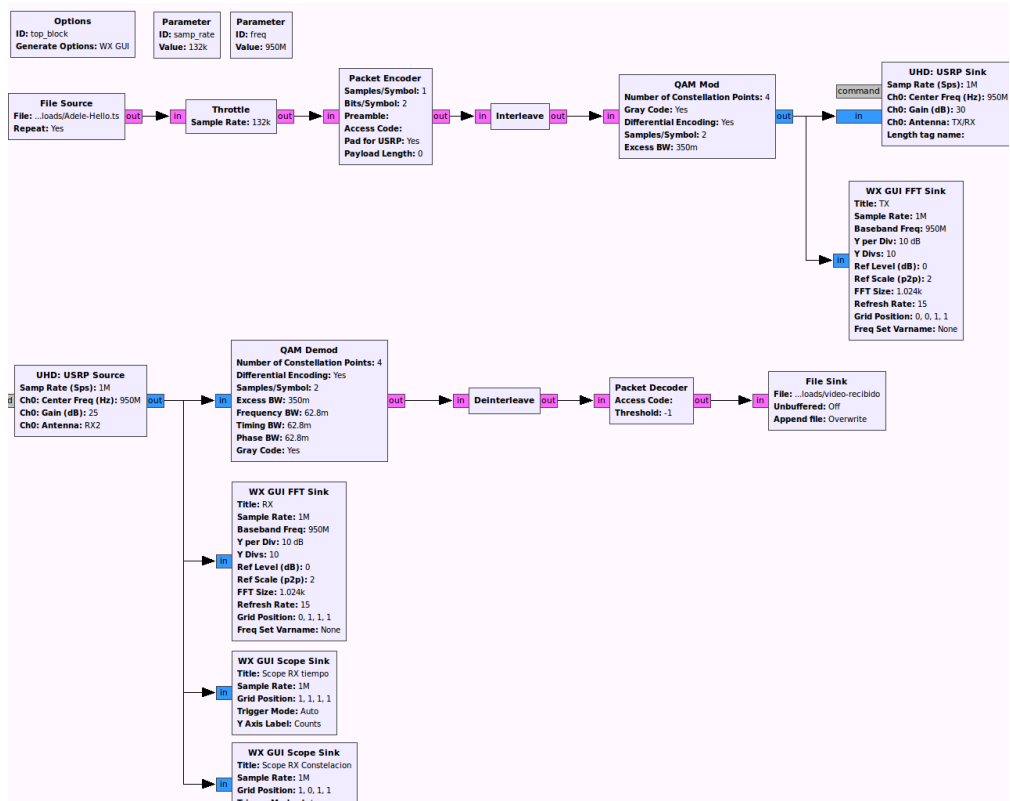
**Tabla 18-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 950 MHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	950 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

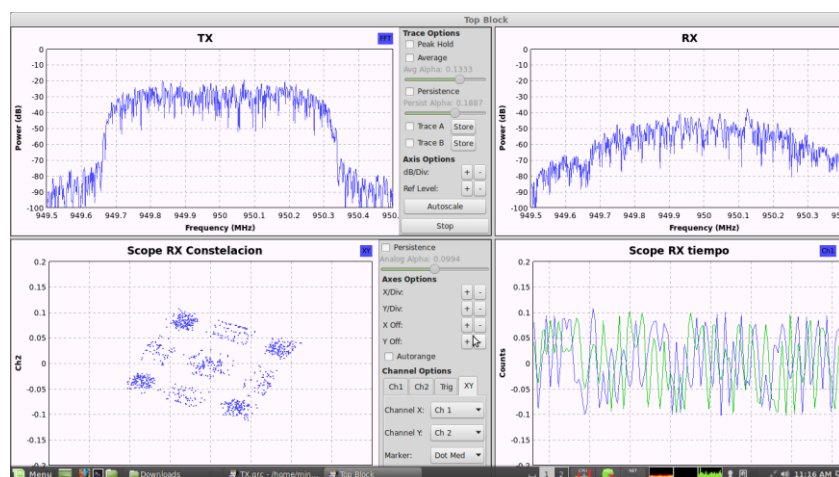
El modelo de ejecución se muestra a continuación:





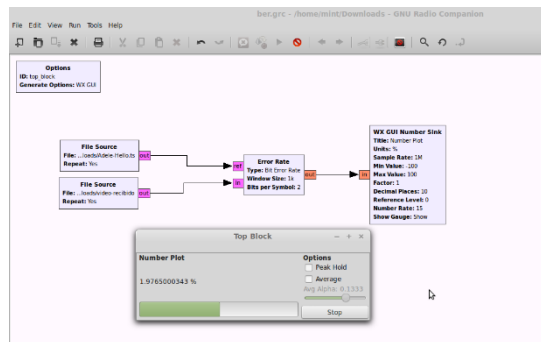
**Figura 69-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 950 MHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 950 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



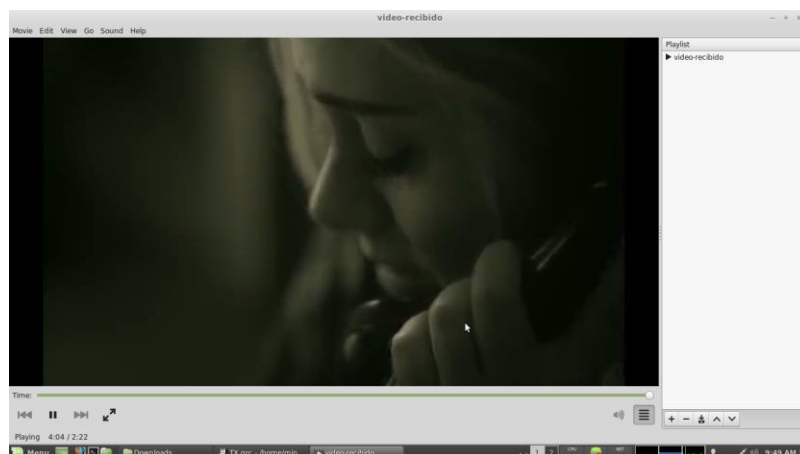
**Figura 70-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.977% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 71-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 72-3.** Video Recibido, QPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

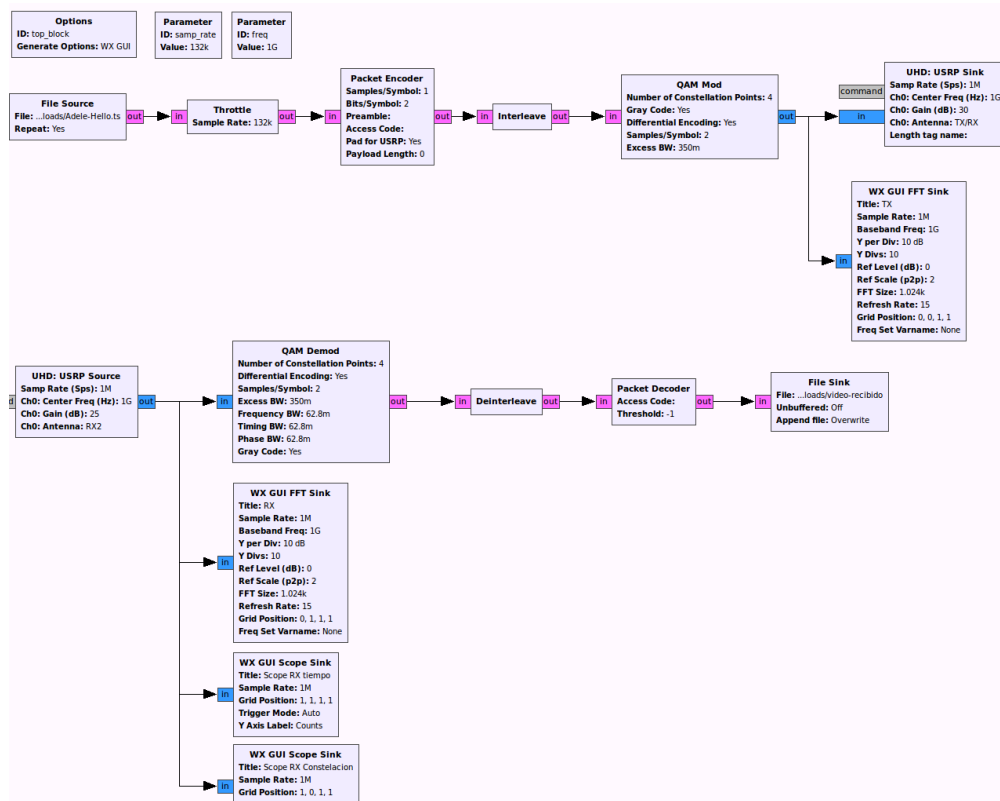
### 3.1.19. Transmisión / Recepción QPSK a 1 GHz, conexión directa

**Tabla 19-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 1 GHz.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	1 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

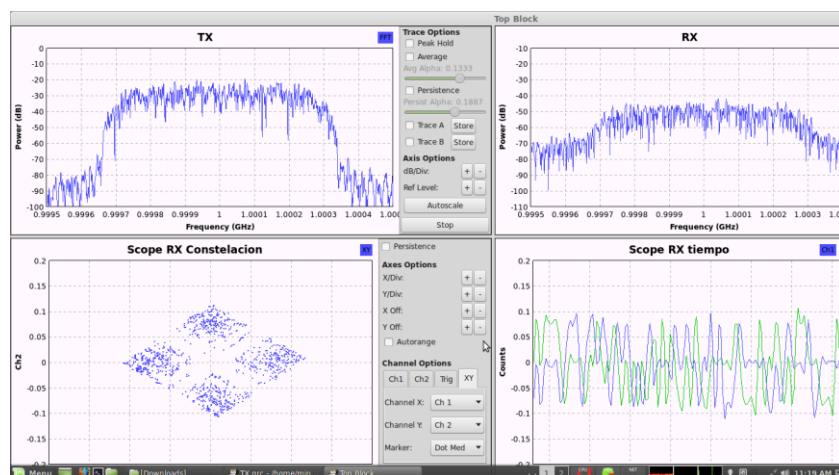
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



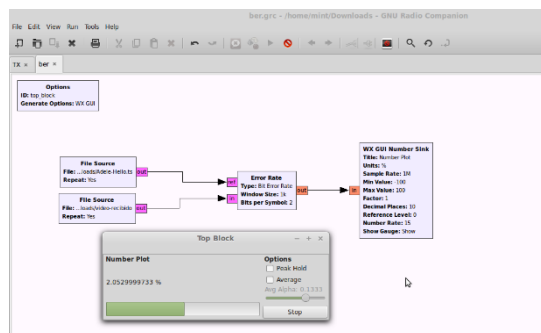
**Figura 73-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 1 GHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 74-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 2.053% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 75-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 76-3.** Video Recibido, QPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

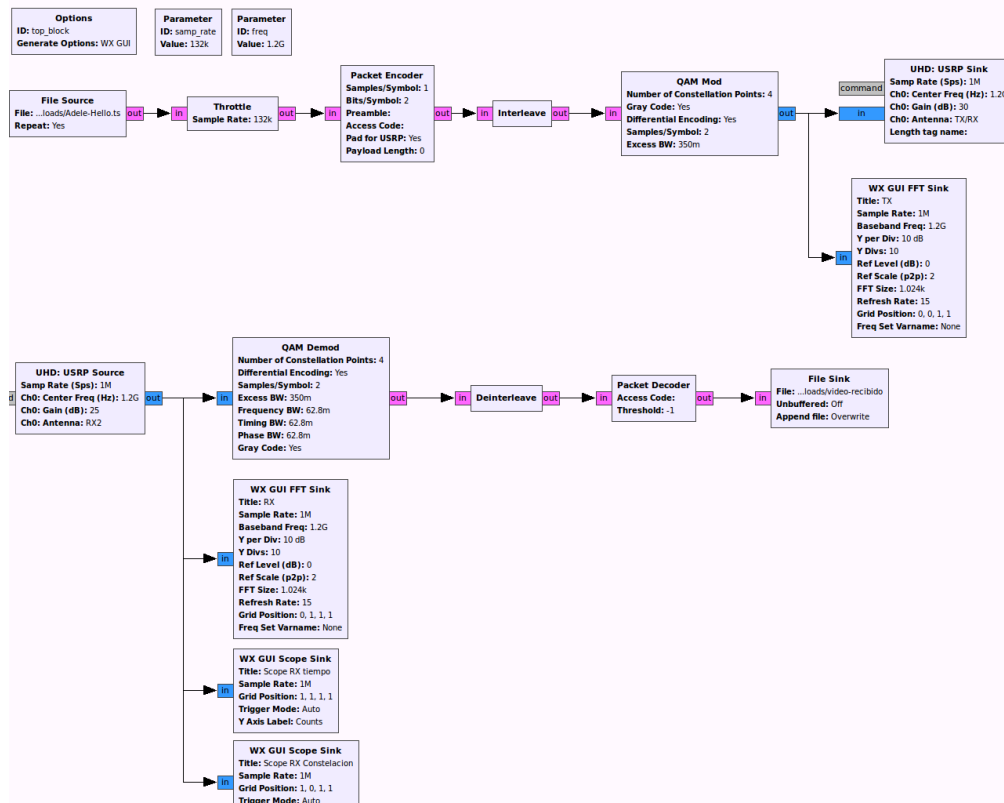
### 3.1.20. Transmisión / Recepción QPSK a 1.2 GHz, conexión directa

**Tabla 20-3:** Parámetros de operación sistema QPSK a 1.2 GHz

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	1.2 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

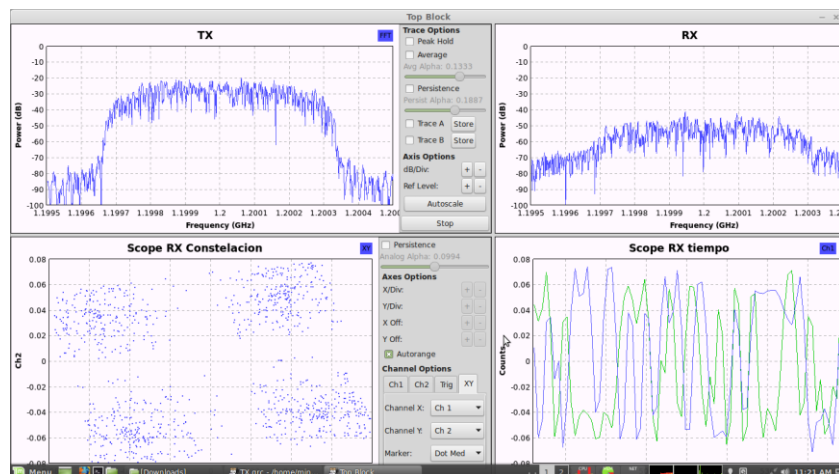
Realizado por: El Autor.

El modelo de ejecución se muestra a continuación:



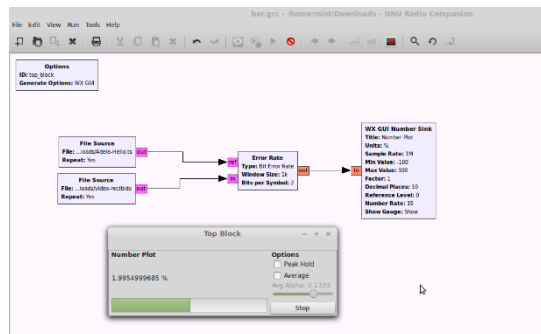
**Figura 77-3.** Transmisión y Recepción QPSK con frecuencia central de 1.2 GHz  
Fuente: Autor

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1.2 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, además los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación.



**Figura 78-3.** Espectro TX/RX, Constelación, Modulación temporal, QPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

La BER tiene un resultado del 1.995% de perdida de datos entre el archivo original y el recibido:



**Figura 79-3.** Bit Error Rate (BER), QPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

La imagen del video al ser reproducido es la siguiente:



**Figura 80-3.** Video Recibido, QPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

B. Segunda Etapa: Uso de Antenas en los terminales TX/RX y RX2.

Los escenarios presentados anteriormente tanto para DQPSK como para QPSK son usados de la misma forma sin variación alguna en sus parámetros, el único cambio que se hace es colocar las antenas en los terminales TX/RX y RX2; para determinar si el sistema propaga las señales en el espacio libre y como estas son captadas.

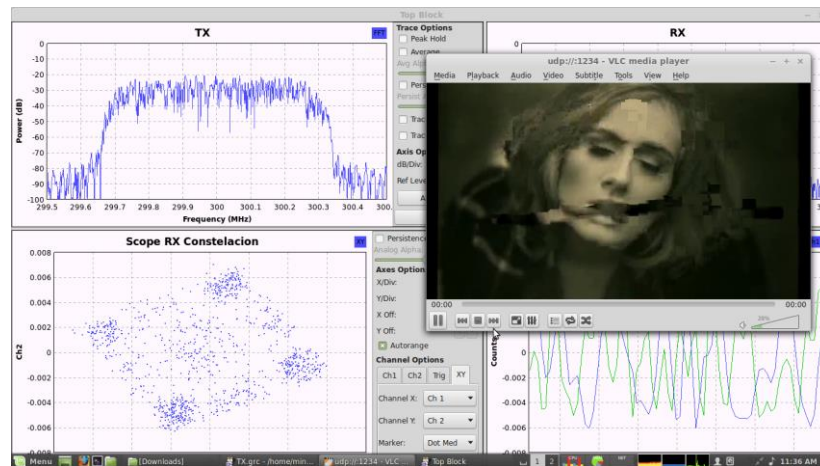
### 3.1.21. Transmisión / Recepción DQPSK a 300 MHz, espacio libre

**Tabla 21-3:** Operación sistema DQPSK a 300 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	300 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 300 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 81-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

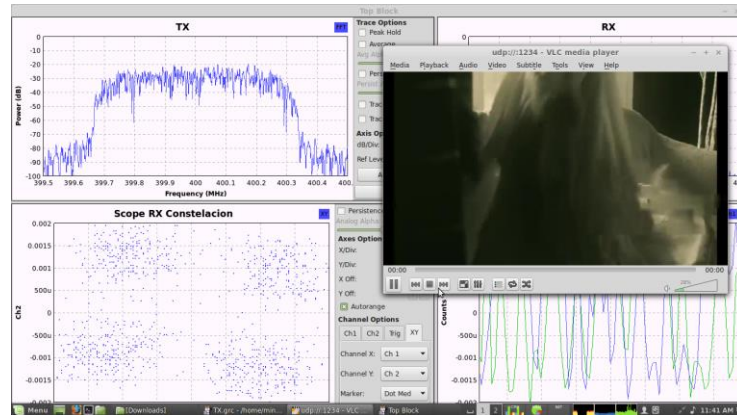
### 3.1.22. Transmisión / Recepción DQPSK a 400 MHz, espacio libre

**Tabla 22-3:** Operación sistema DQPSK a 400 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	400 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 400 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 82-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

### 3.1.23. Transmisión / Recepción DQPSK a 500 MHz, espacio libre

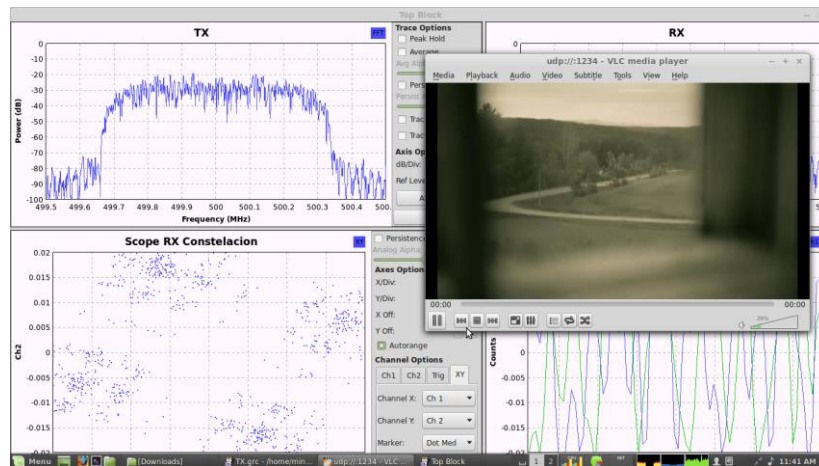
**Tabla 23-3:** Operación sistema DQPSK a 500 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	500 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 500 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.





**Figura 83-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor

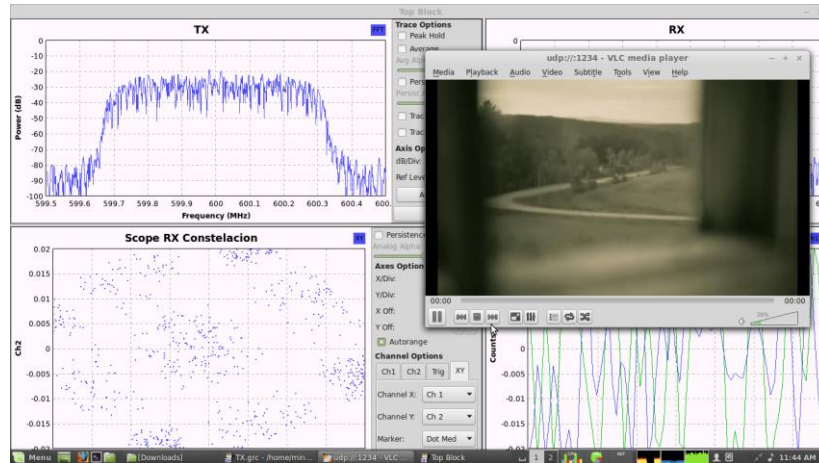
### 3.1.24. Transmisión / Recepción DQPSK a 600 MHz, espacio libre

**Tabla 24-3:** Operación sistema DQPSK a 600 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	600 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 600 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 84-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

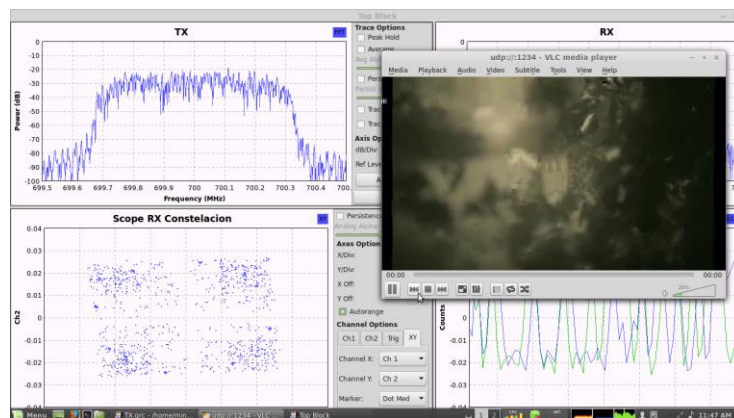
### 3.1.25. Transmisión / Recepción DQPSK a 700 MHz, espacio libre

**Tabla 25-3:** Operación sistema DQPSK a 700 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	700 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 700 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 85-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 700 M  
Fuente: Autor

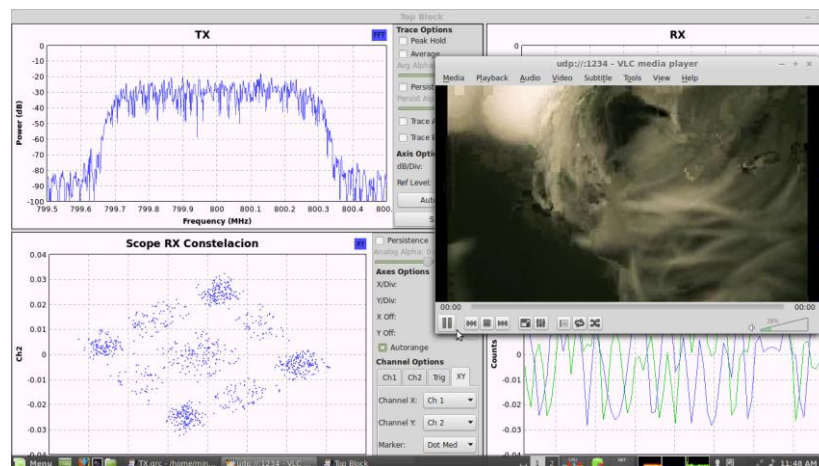
### 3.1.26. Transmisión / Recepción DQPSK a 800 MHz, espacio libre

**Tabla 26-3:** Operación sistema DQPSK a 800 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	800 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 800 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 86-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

### 3.1.27. Transmisión / Recepción DQPSK a 900 MHz, espacio libre

**Tabla 27-3:** Operación sistema DQPSK a 900 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	900 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 900 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 87-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

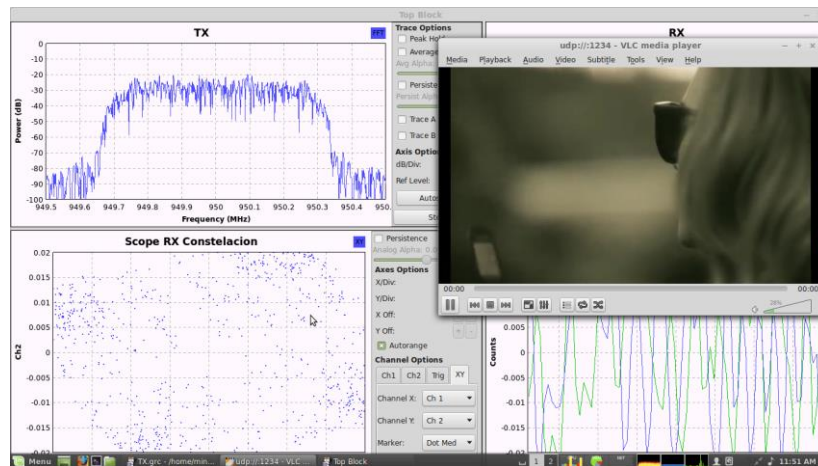
### 3.1.28. Transmisión / Recepción DQPSK a 950 MHz, espacio libre

**Tabla 28-3:** Operación sistema DQPSK a 950 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	950 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 950 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 88-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

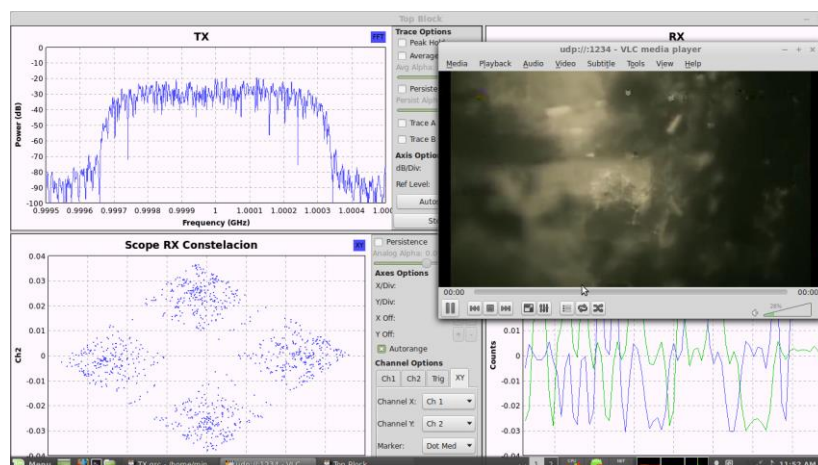
### 3.1.29. Transmisión / Recepción DQPSK a 1 GHz, espacio libre

**Tabla 29-3:** Operación sistema DQPSK a 1 GHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	1 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 89-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor



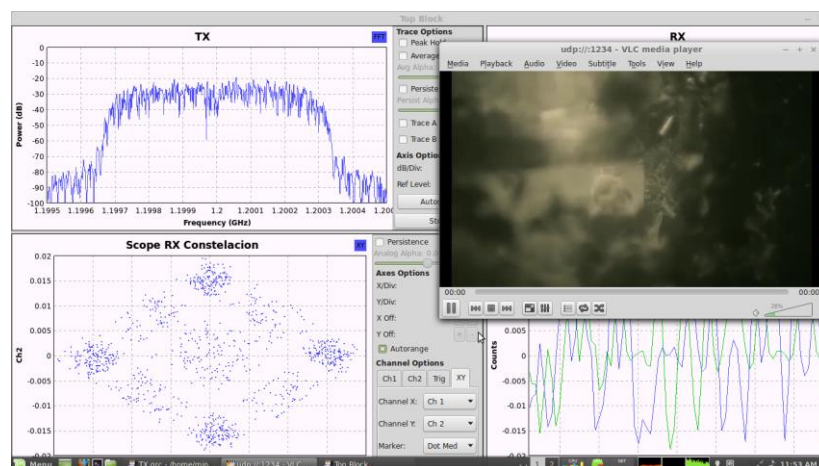
### 3.1.30. Transmisión / Recepción DQPSK a 1.2 GHz, espacio libre

**Tabla 30-3:** Operación sistema DQPSK a 1.2 GHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
DQPSK	1.2 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1.2 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 90-3.** Datos obtenidos del sistema DQPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

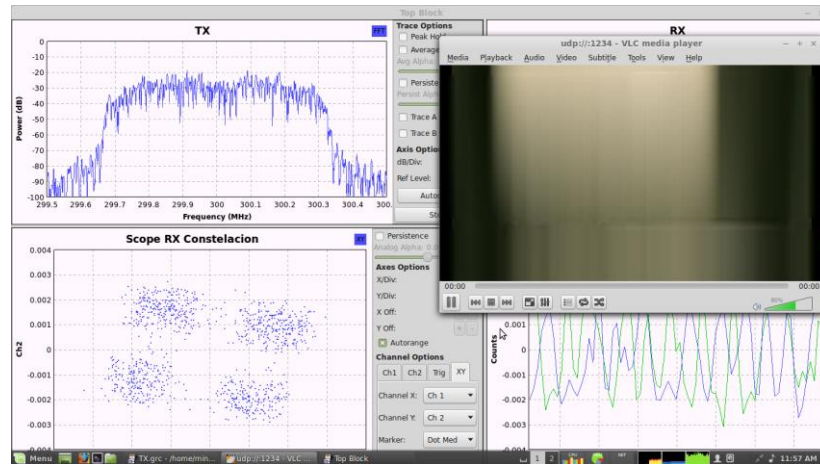
### 3.1.31. Transmisión / Recepción QPSK a 300 MHz, espacio libre

**Tabla 31-3:** Operación sistema QPSK a 300 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	300 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 300 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 91-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 300 MHz  
Fuente: Autor

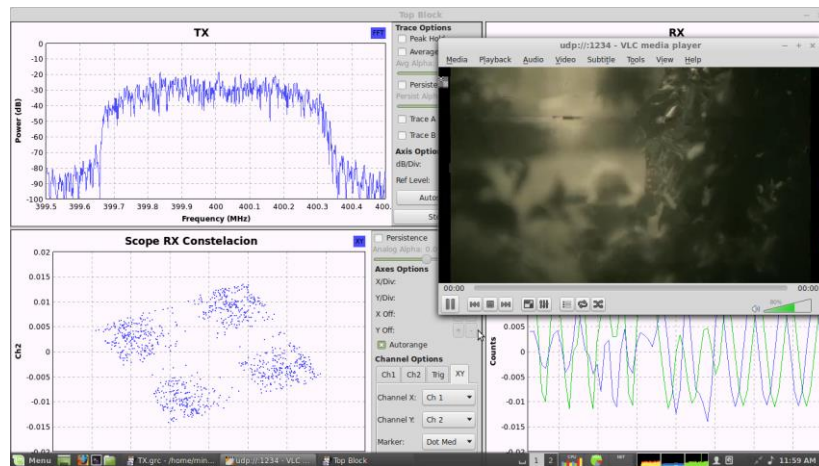
### 3.1.32. Transmisión / Recepción QPSK a 400 MHz, espacio libre

**Tabla 32-3:** Operación sistema QPSK a 400 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	400 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 400 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 92-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 400 MHz  
Fuente: Autor

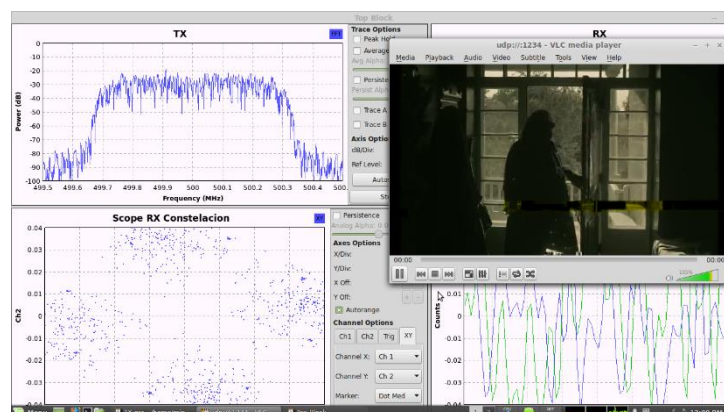
### 3.1.33. Transmisión / Recepción QPSK a 500 MHz, espacio libre

**Tabla 33-3:** Operación sistema QPSK a 500 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	500 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 500 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 93-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 500 MHz  
Fuente: Autor



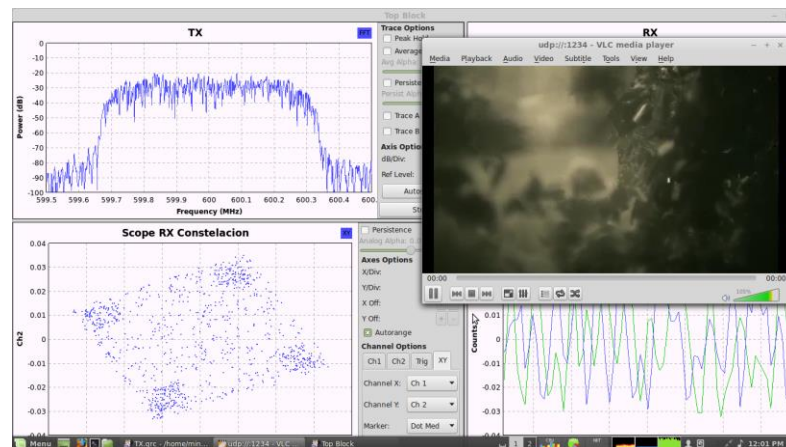
### 3.1.34. Transmisión / Recepción QPSK a 600 MHz, espacio libre

**Tabla 34-3:** Operación sistema QPSK a 600 MHz en espacio libre.

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	600 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 600 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 94-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 600 MHz  
Fuente: Autor

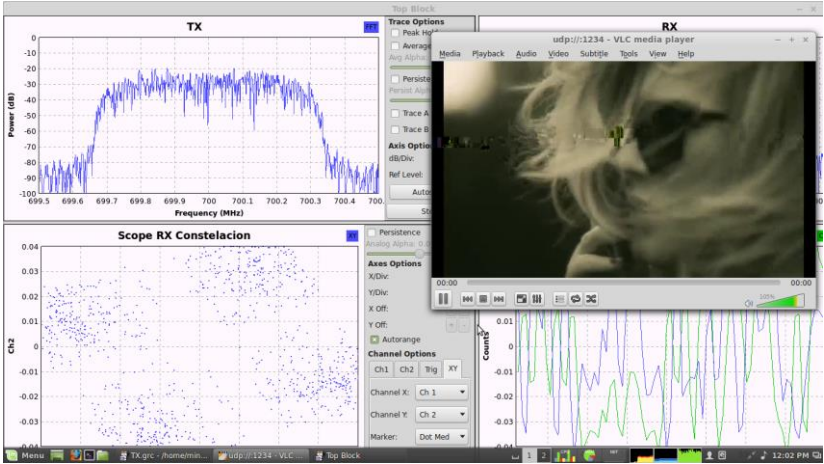
### 3.1.35. Transmisión / Recepción QPSK a 700 MHz, espacio libre

**Tabla 35-3:** Operación sistema QPSK a 700 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	700 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 700 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 95-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 700 MHz  
Fuente: Autor

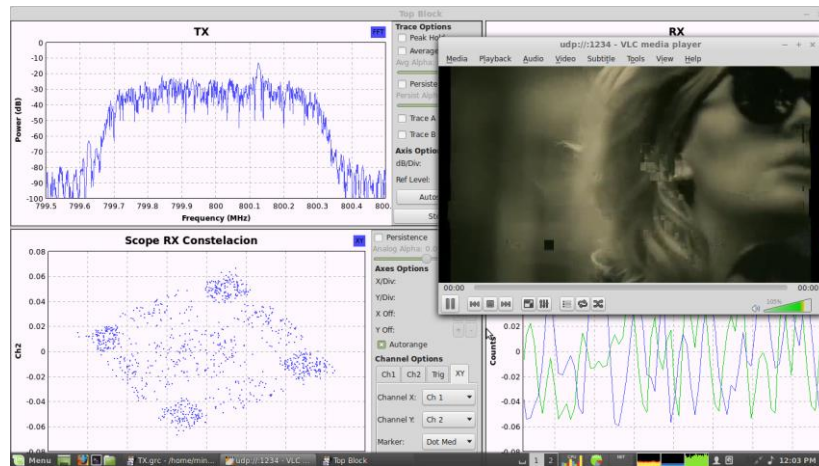
### 3.1.36. Transmisión / Recepción QPSK a 800 MHz, espacio libre

**Tabla 36-3:** Operación sistema QPSK a 800 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	800 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 800 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 96-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 800 MHz  
Fuente: Autor

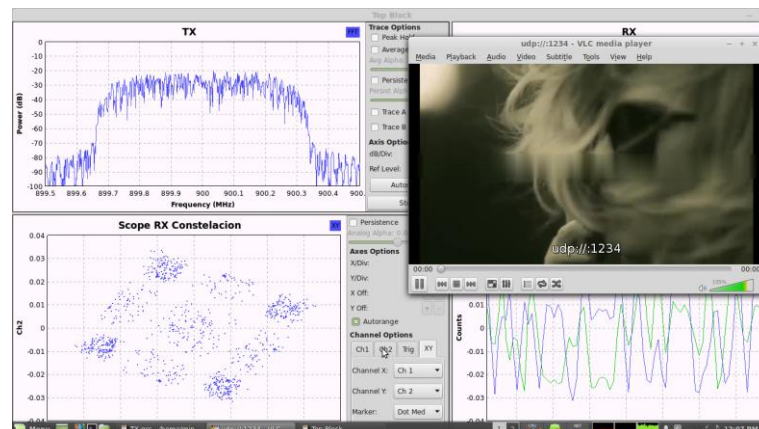
### 3.1.37. Transmisión / Recepción QPSK a 900 MHz, espacio libre

**Tabla 37-3:** Operación sistema QPSK a 900 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	900 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 900 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 97-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 900 MHz  
Fuente: Autor

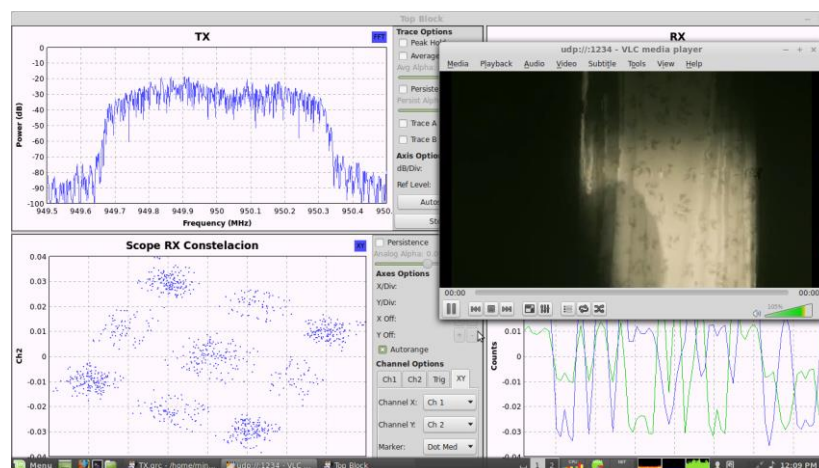
### 3.1.38. Transmisión / Recepción QPSK a 950 MHz, espacio libre

**Tabla 38-3:** Operación sistema QPSK a 950 MHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	950 MHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 950 MHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 98-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 950 MHz  
Fuente: Autor

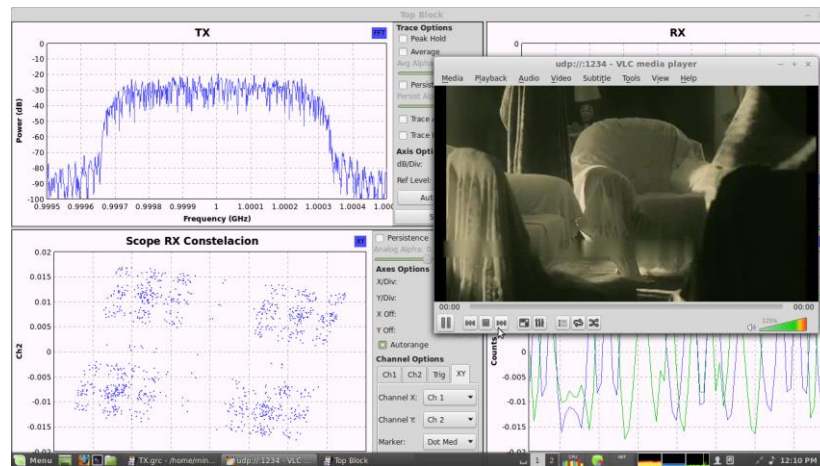
### 3.1.39. Transmisión / Recepción QPSK a 1 GHz, espacio libre

**Tabla 39-3:** Operación sistema QPSK a 1 GHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	1 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 99-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 1 GHz  
Fuente: Autor

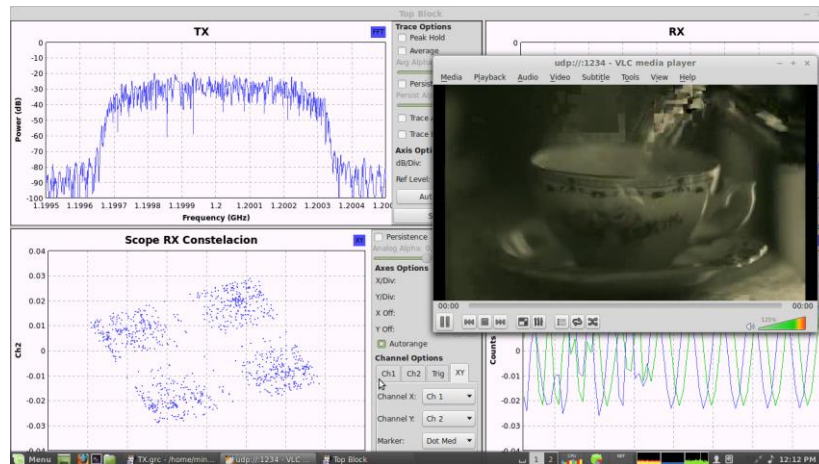
### 3.1.40. Transmisión / Recepción QPSK a 1.2 GHz, espacio libre

**Tabla 40-3:** Operación sistema QPSK a 1.2 GHz en espacio libre

Modulación	Frecuencia	Tasa de muestras del video	Tasa de muestras USRP	Ganancia TX	Ganancia RX
QPSK	1.2 GHz	132 K	1 M	30 db	25 db

Realizado por: El Autor.

El espectro de transmisión y recepción se encuentra operando a 1.2 GHz con un ancho de banda de 600 KHz, a medida que se modula en el tiempo la amplitud y la fase varían constantemente, los datos obtenidos se capturan en los puntos de constelación y las imágenes son reproducidas directamente.



**Figura 100-3.** Datos obtenidos del sistema QPSK a 1.2 GHz  
Fuente: Autor

### 3.2. Análisis y Síntesis de Resultados

En las tablas se muestran los niveles de potencia que se midieron con las gráficas de la transformada rápida de Fourier; tanto en medio guiado como no guiado, además se pudo distinguir que un ancho de banda de 600 KHz fue usado para el envío y recepción de los datos.

Para las modulaciones DQPSK y QPSK en medio guiado se obtuvo un promedio del 2.008% como tasa de error de bits (BER).

**Tabla 41-3:** Modulación DQPSK en medio guiado

Modulación DQPSK en medio guiado				
Frecuencia	Potencia TX [db]	Potencia RX [db]	BW	BER
300 MHz	-30	-50	600 KHz	2.049
400 MHz	-30	-50	600 KHz	2.014
500 MHz	-30	-50	600 KHz	2.044
600 MHz	-30	-50	600 KHz	1.985
700 MHz	-30	-50	600 KHz	2.080
800 MHz	-30	-50	600 KHz	1.980
900 MHz	-30	-50	600 KHz	1.908
950 MHz	-30	-50	600 KHz	1.971
1 GHz	-30	-50	600 KHz	1.981
1.2 GHz	-30	-50	600 KHz	2.069

Realizado por: El Autor.



**Tabla 42-3:** Modulación QPSK en medio guiado

<b>Modulación QPSK en medio guiado</b>				
<b>Frecuencia</b>	<b>Potencia TX [db]</b>	<b>Potencia RX [db]</b>	<b>BW</b>	<b>BER</b>
<b>300 MHz</b>	-30	-45	600 KHz	1.962
<b>400 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	1.985
<b>500 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	1.981
<b>600 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	2.049
<b>700 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	2.013
<b>800 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	2.015
<b>900 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	2.039
<b>950 MHz</b>	-30	-50	600 KHz	1.977
<b>1 GHz</b>	-30	-50	600 KHz	2.053
<b>1.2 GHz</b>	-30	-50	600 KHz	1.995

Realizado por: El Autor.

Para las pruebas en medio no guiado el archivo que se recibe en el demodulador es enviado por una conexión local udp para ser reproducido en tiempo real, y los niveles de potencia obtenidos se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 43-3:** Modulación DQPSK en medio no guiado

<b>Modulación DQPSK en medio no guiado</b>			
<b>Frecuencia</b>	<b>Potencia TX [db]</b>	<b>Potencia RX [db]</b>	<b>BW</b>
<b>300 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>400 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>500 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>600 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>700 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>800 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>900 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>950 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>1 GHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>1.2 GHz</b>	-30	-50	600 KHz

Realizado por: El Autor.

**Tabla 44-3:** Modulación QPSK en medio no guiado

<b>Modulación QPSK en medio no guiado</b>			
<b>Frecuencia</b>	<b>Potencia TX [db]</b>	<b>Potencia RX [db]</b>	<b>BW</b>
<b>300 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>400 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>500 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>600 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>700 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>800 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>900 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>950 MHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>1 GHz</b>	-30	-50	600 KHz
<b>1.2 GHz</b>	-30	-50	600 KHz

Realizado por: El Autor.

Los niveles de potencia que permitieron conseguir un sistema estable, fueron de 30db en Transmisión y 50db en Recepción.

Tras cada una de las 40 pruebas realizadas, el archivo recibido era comparado con el enviado para determinar en primer lugar si la transferencia se cumplía con normalidad, entonces al reproducir el video se ratificó que el sistema operaba normalmente puesto que la calidad de audio y video fueron buenas.



## CONCLUSIONES

El uso de Plataformas SDR es una de las mejores opciones para desarrollar pruebas, análisis e incluso invenciones de protocolos de comunicación, en los cuales existe la posibilidad de aprovechar al máximo su flexibilidad.

El software redistribuible que ofrecen los S.O. de licencias Open Source, también son un factor crítico para el desarrollo de nuevas aplicaciones, puesto que es más fácil encontrar soluciones a nivel de controladores para interfaces de operación de hardware.

La norma estandarizada ISDBT presenta un escenario de tratamiento de datos muy robusta, en la cual se pretende aprovechar al máximo tanto en tiempo como en frecuencia, a la información de varios canales con sus servicios particulares.

El software GNU Radio Companion ofrece un ambiente de configuración no muy compleja, donde en primera instancia se puede emplear para analizar el comportamiento de los datos mediante una simulación y una vez que estos sean comprobados, pueden ser acoplados a un USRP.

Mediante la implementación del sistema digital de TV se concretó el análisis de la transmisión y recepción en tiempo real, además al cambiar los parámetros de los sistemas como modulaciones, codificaciones y frecuencias se ratificó que el módulo USRP puede ser usado para la transmisión de televisión digital debido a su flexibilidad en cuanto a la banda de operación desde 70 MHz hasta 6 GHz.

El promedio obtenido de la tasa de error de bits (BER) es del 2%, por lo que se está garantizando que la información no está siendo corrompida a tal punto de no obtener ninguna señal.

Cuando se realizaron las pruebas tanto en conexión directa como con el uso de las antenas, el archivo multimedia de alta definición solo usó un ancho de banda de 600 KHz, por ende la adjunción de varios canales es muy viable.

El sistema implementado a través de la USRP permite cambiar las ganancias del transmisor y el receptor de tal manera que se pueda garantizar que la señal enviada sea captada sobre todo cuando el sistema trabaja en el espacio libre.

Las modulaciones empleadas DQPSK y QPSK, fueron comprobadas sobre todo en su diagrama de constelación donde se pudo observar los puntos de codificación de 8 y 4 respectivamente, además se determinó mediante las gráficas como son desfasados los datos.

No fue necesario construir generadores de señales, codificadores, moduladores, analizadores de espectros, osciloscopios, etc. Puesto que el uso conjunto del software GNU Radio Companion y el hardware USRP, representan una aplicación económica al momento de implementar un sistema de televisión digital.

## RECOMENDACIONES

Las tasas de muestreo de los módulos USRP deben tener un mínimo de 1 Mega de muestra por segundo para garantizar sobre todo la sincronización en los terminales TX/RX y RX2.

Es necesario el uso de un amplificador de potencia, puesto que al realizar las pruebas sobre todo en espacio libre, el alcance de las señales fue de pocos centímetros.

Las antenas Log Periodic deben estar separadas a pocos centímetros, ya que al ser altamente directivas si sus lóbulos de radiación varían drásticamente en ángulo o en distancia no se puede obtener ningún dato.

Cuando es conectado el módulo USRP al ordenador; se debe examinar que esté funcionando normalmente, entonces su conectividad debe ser probada al usar el comando `uhd_find_devices` en un terminal del S.O.

Debido a la tasa alta de transferencia de datos por parte del USRP, es necesario usar un computador con una memoria RAM mayor a 4GB y al menos un procesador Core i7 de 3.40GHz; además si se usa un S.O en una USB booteable, obligatoriamente debe ser 3.0.

Si el video recibido se lo transmite en la red, esta debe tener un ancho de banda no muy bajo puesto que los datos se transmiten en tiempo real y si se pierden en su mayoría debido al tráfico de red, el archivo multimedia obtenido no tiene calidad alguna ni en imagen ni en audio.

Se recomienda a la comunidad politécnica que se debe continuar investigando sobre el uso de radios reprogramables, puesto que estos equipos son muy flexibles al momento de implementar sistemas de comunicaciones actuales; la implementación realizada debe seguir siendo mejorada hasta garantizar que se pueda emplear en las estaciones televisivas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**LEON W. COUCH, II.** *Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógicos*. 7<sup>ma</sup> ed traducida al español. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall. 2008, pp. 302-640.

**ROY BLAKE.** *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. 2<sup>da</sup> ed. México D.F, México: International Thomson. 2004, pp. 172-448.

**SALVADOR AMALFA.** *TV DIGITAL, Dispositivos, Estándares y Plataformas de Recepción*. Buenos Aires, Argentina: Hispano Americana. 2008, pp. 13-295.

**WAYNE TOMASI.** *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. 4<sup>ta</sup> ed traducida al español. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall. 2003, pp. 467-521.

**ÁNGEL DANIEL JUAN TORAL.** *Prácticas de Laboratorio de Televisión Digital Terrestre basadas en Radio Definido por Software [En línea] (TESIS)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones. México D.F, México, 2013. [Consulta: 18 febrero 2016]. Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5481/tesis.pdf?sequence=1>

**ARGENTINA, MINISTERIO DE INDUSTRIA, SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO.** *Introducción a la TV Digital. Estándar ISDB-T*. [Consulta: 23 febrero 2016]. Disponible en: <https://www.inti.gob.ar/electronicaeinformatica/utc/pdf/ISDBT-2011.pdf>

**BOLIVIA, DIBEG.** *Características del sistema ISDB-T*. [Consulta: 24 febrero 2016]. [http://www.dibeg.org/news/2009/0907Bolivia\\_ISDB-T\\_seminar/presentation2.pdf](http://www.dibeg.org/news/2009/0907Bolivia_ISDB-T_seminar/presentation2.pdf)

**BRASIL, NORMA BRASILEÑA ABNT NBR 15601.** [Consulta: 24 febrero 2016].

Disponible en: [http://www.upjet.org.ar/archivos\\_noticias/356-1.pdf](http://www.upjet.org.ar/archivos_noticias/356-1.pdf)

**ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.** *Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012.* [Consulta: 15 febrero 2016]. Disponible en:

[http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/RTV-6 24-CONATEL-2012-PLAN%20MAESTRO-ACTUAL.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/RTV-6 24-CONATEL-2012-PLAN%20MAESTRO-ACTUAL.pdf)

**ECUADOR, MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN.** *Televisión Digital Terrestre en el Ecuador.* [Consulta: 20 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre-en-el-ecuador/>

**ESPAÑA. DE LA FONOVISIÓN A LA TDT.** [Consulta: 26 febrero 2016].

Disponible en: <http://blogginzenith.zenithmedia.es/de-la-fonovision-la-tdt-asi-es-la-historia-de-la-television-en-espana/>

**ESTADOS UNIDOS, LINUX MINT.** *About Linux Mint.* [Consulta: 26 febrero 2016].

Disponible en: <https://www.linuxmint.com/>

**GNU RADIO COMPANION.** [Consulta 17 febrero 2016].

Disponible en: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>

**JORGE GABRIEL VEGA RODRÍGUEZ.** Análisis de la sincronización de la trama de datos en la modulación OFDM utilizando radio definido por software [En línea] (TESIS). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Ambato, Ecuador, 2015. [Consulta: 21 febrero 2016]. Disponible en: [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15105/1/Tesis\\_t1068ec.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15105/1/Tesis_t1068ec.pdf)

**LUIS ANDRÉS BOLAÑOS DELGADO Y ABEL ANTONIO RUIZ VILLAMAR.** Diseño, de un algoritmo para el análisis y monitoreo de parámetros d señales LTE 4G utilizando la plataforma de Radio Definido por Software [En línea] (TESIS). Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Facultad de Ingenierías, Carrera de Ingeniería en Electrónica. Guayaquil, Ecuador, 2015. [Consulta: 21 febrero 2016]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10419/1/UPS-GT001480.pdf>

**MARTÍN POVEDA Y OTROS.** Universidad Tecnológica de Panamá, Ancón, Panamá. *Sistema de Comunicación más Flexible: Una Radio Definida por Software*. [Consulta: 18 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2015SantoDomingo/RefereedPapers/RP039.pdf>

**NATIONAL INSTRUMENTS.** *SDR para la Educación*. [Consulta: 22 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.ni.com/sdr/education/esa/>

**NATIONAL INSTRUMENTS.** *USRP*. [Consulta: 22 febrero 2016]. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212990>

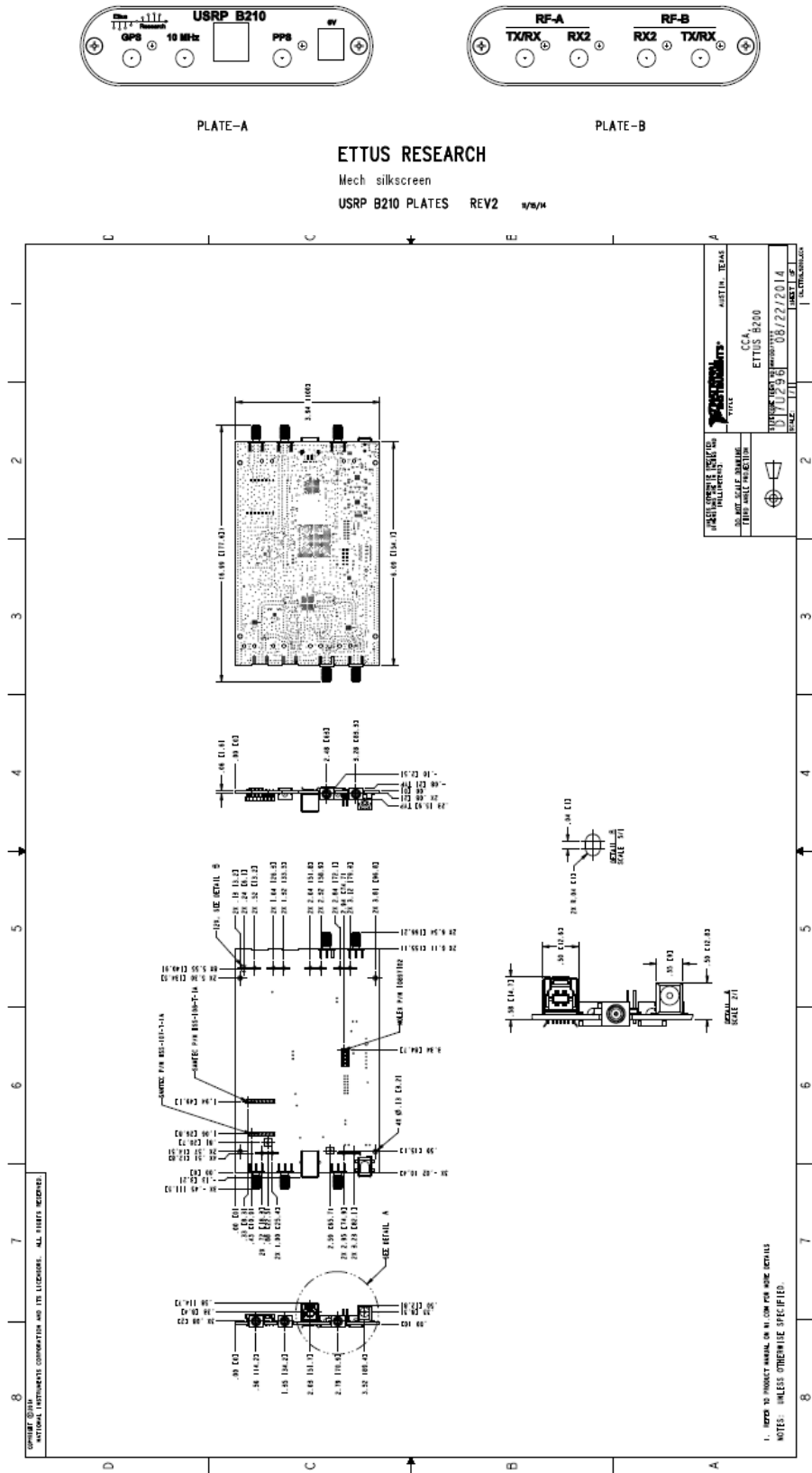
**RAFAEL SOTELO Y OTROS.** *Sistema de Transmisión ISDB-T*. [Consulta: 25 febrero-2016]. Disponible en: [http://www.um.edu.uy/upload/descarga/web\\_descarga\\_240\\_SistemadetransmisinISDBTSotelo\\_Durn\\_Joskowicz.pdf](http://www.um.edu.uy/upload/descarga/web_descarga_240_SistemadetransmisinISDBTSotelo_Durn_Joskowicz.pdf)

**WHYMPER EDUARDO MARTÍNEZ CHÉRREZ.** Análisis del Espectro Radioeléctrico, Modificación, Asignación y Optimización durante la transición de Televisión Analógica a Digital Terrestre en el Ecuador [En línea] (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, Ecuador, 2013. [Consulta: 24 febrero 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3239/1/98T00041.pdf>

**YOANNER PÉREZ MORALES.** Implementación de bloques de codificación de canal para la transmisión de televisión digital terrestre usando sistemas de código abierto [En línea] (TESIS). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Santa Clara, Cuba, 2014. [Consulta: 25 febrero 2016]. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1371/Yoanner%20Perez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

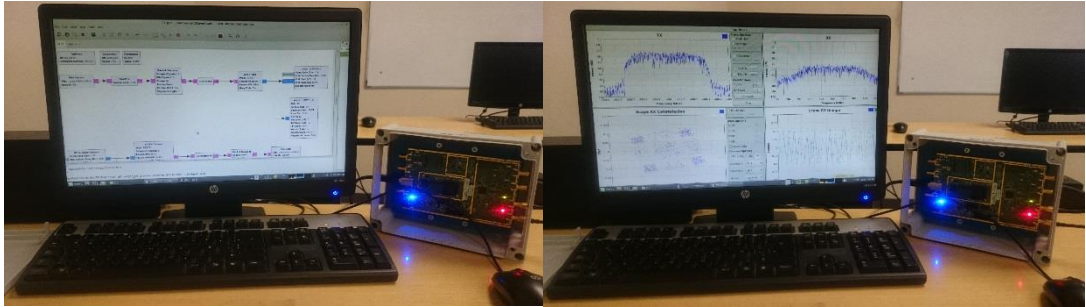
ANEXOS

Anexo A: Estructura Física USRP B210

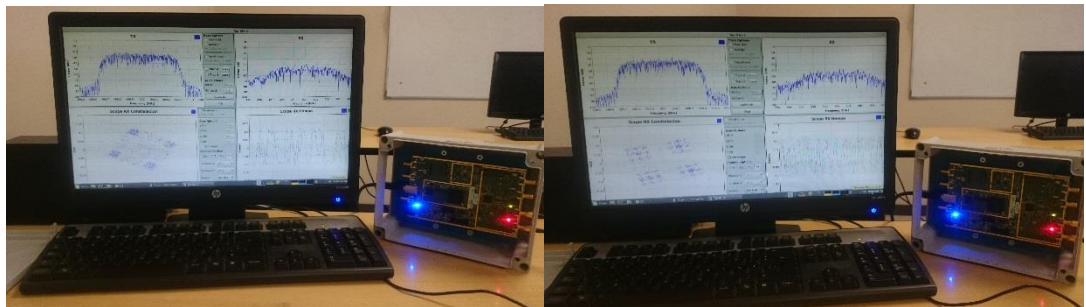


## Anexo B: Pruebas realizadas con el USRP

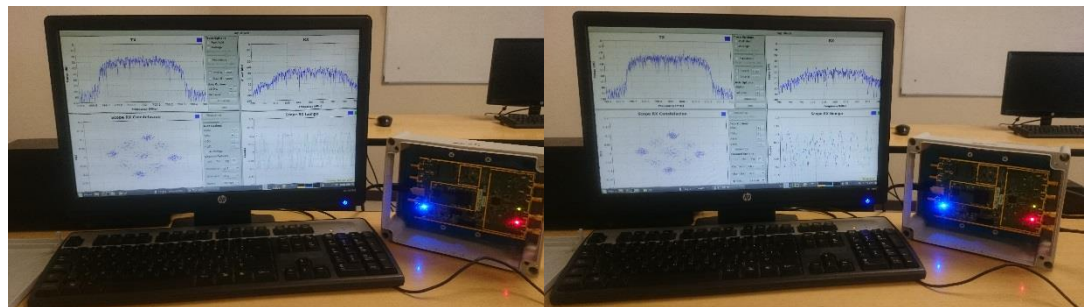
### Conexión Directa DQPSK a 300 y 400 MHz



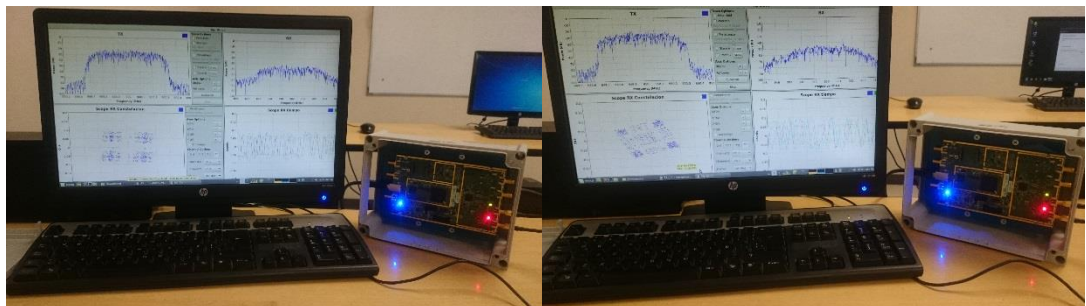
### Conexión Directa DQPSK a 500 y 600 MHz



### Conexión Directa DQPSK a 700 y 800 MHz

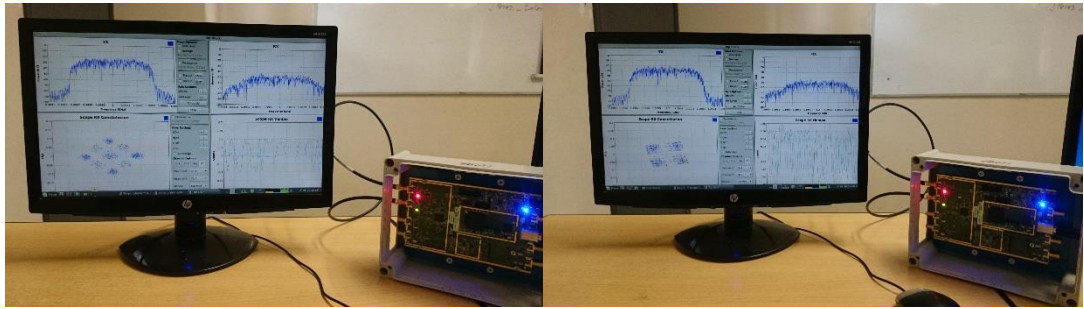


### Conexión Directa DQPSK a 900 y 950 MHz

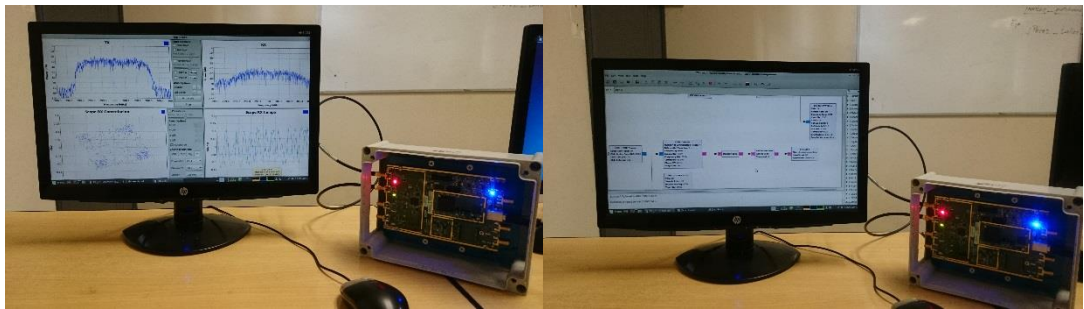




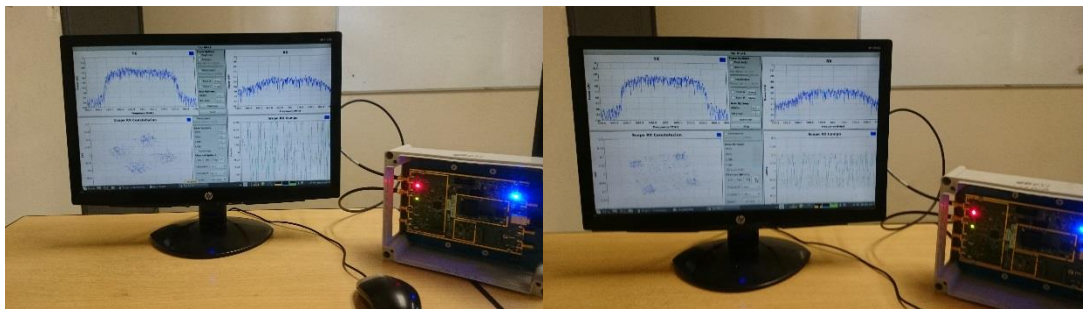
### Conexión Directa DQPSK a 1 y 1.2 GHz



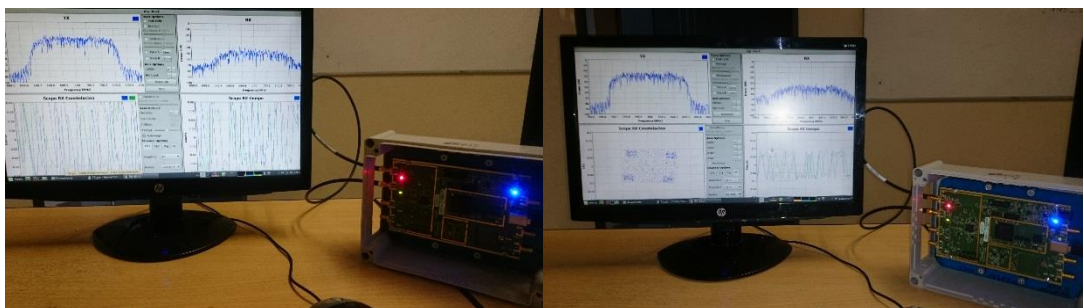
### Conexión Directa QPSK a 300 y 400 MHz



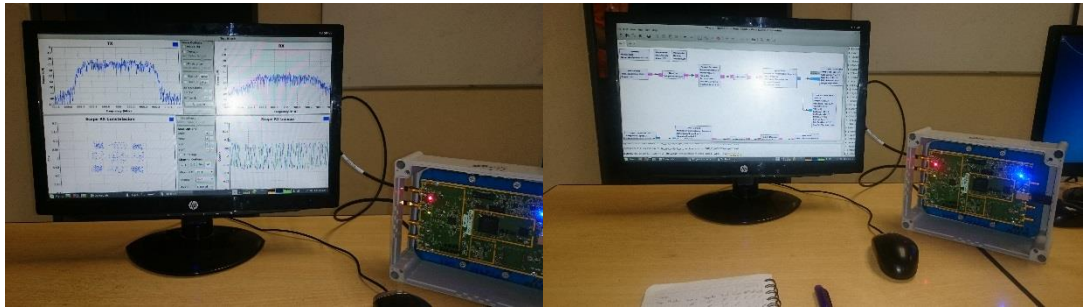
### Conexión Directa QPSK a 500 y 600 MHz



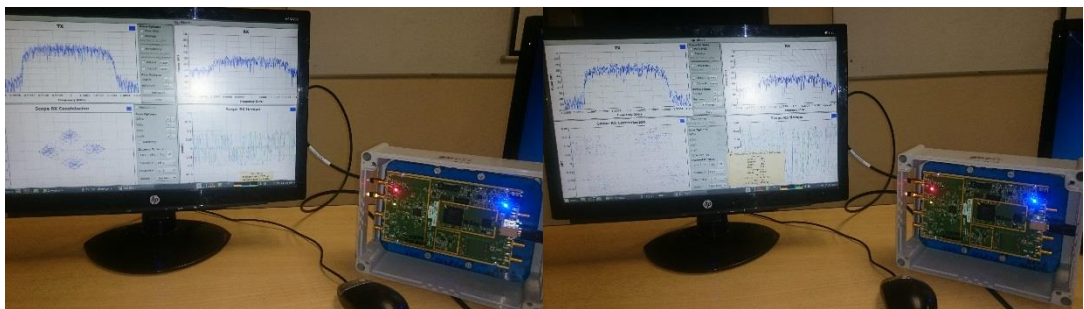
### Conexión Directa QPSK a 700 y 800 MHz



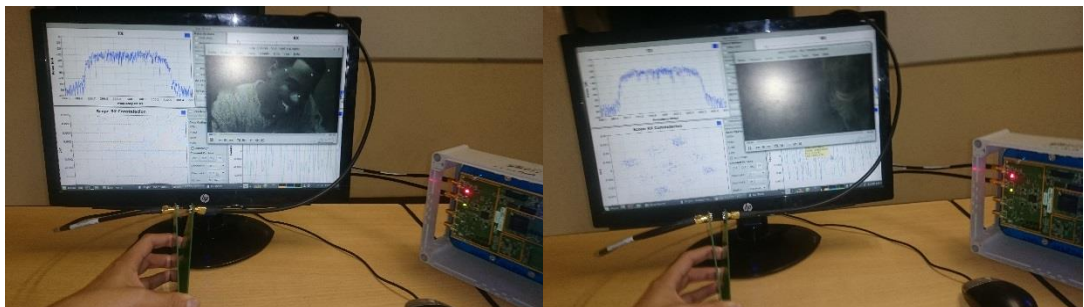
### Conexión Directa QPSK a 900 y 950 MHz



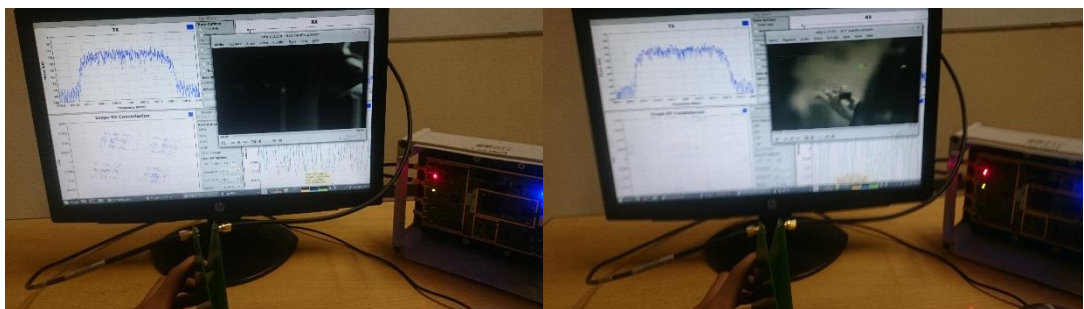
### Conexión Directa QPSK a 1 y 1.2 GHz



### Conexión con Antenas para DQPSK a 300 y 400 MHz

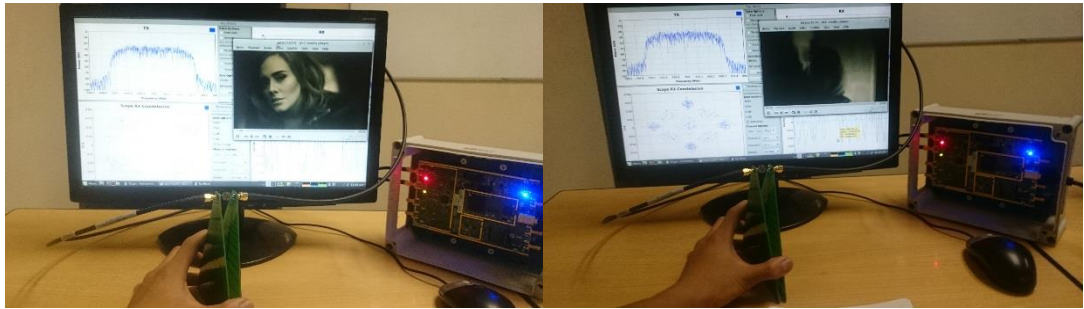


### Conexión con Antenas para DQPSK a 500 y 600 MHz

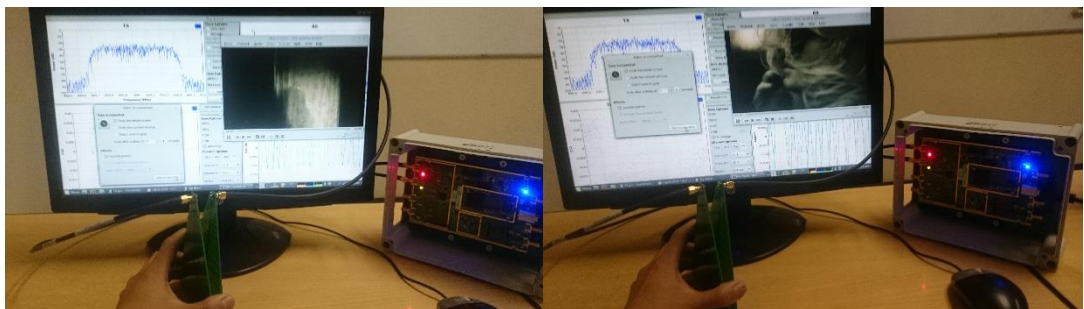




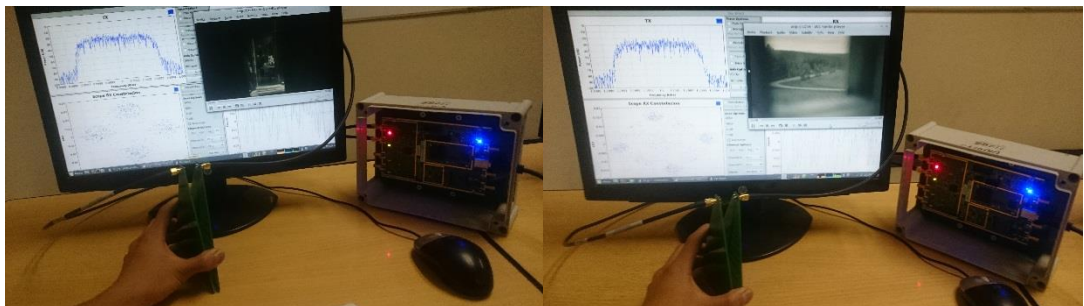
Conexión con Antenas para DQPSK a 700 y 800 MHz



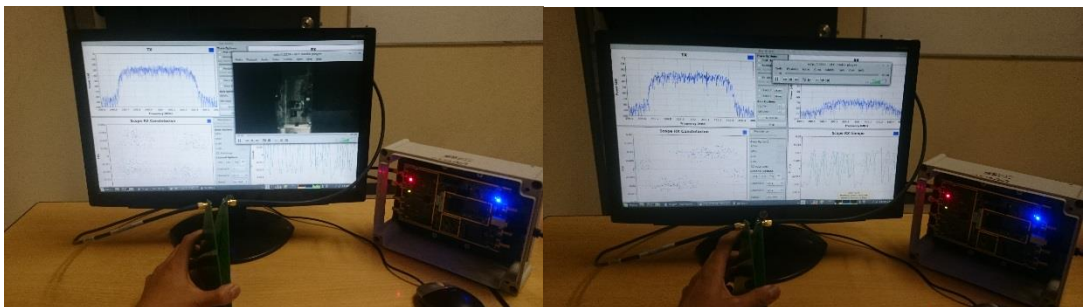
Conexión con Antenas para DQPSK a 900 y 950 MHz



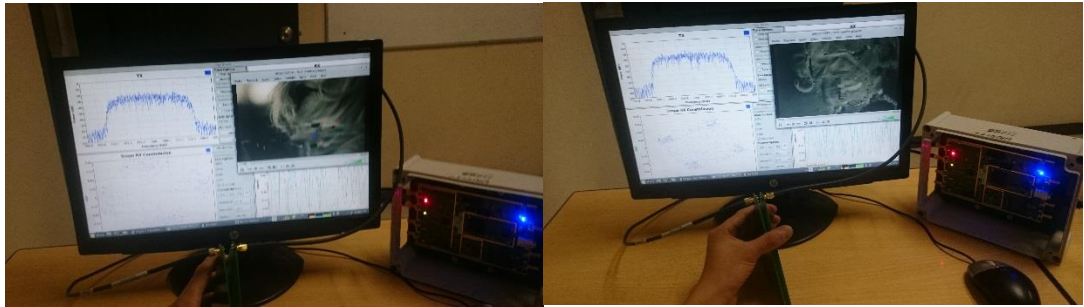
Conexión con Antenas para DQPSK a 1 y 1.2 GHz



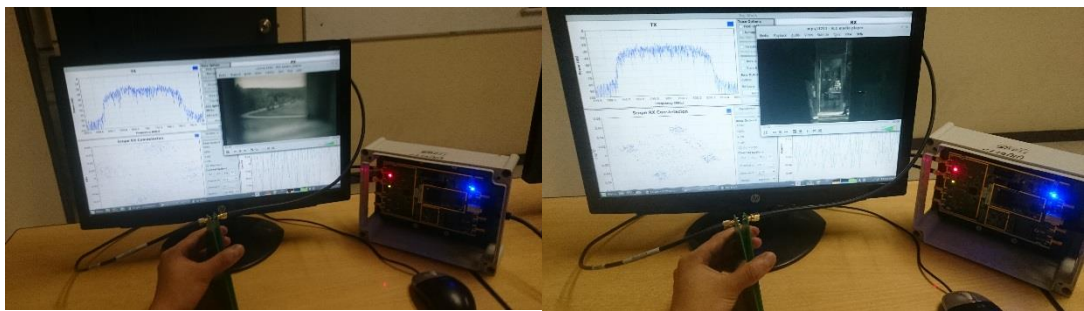
Conexión con Antenas para QPSK a 300 y 400 MHz



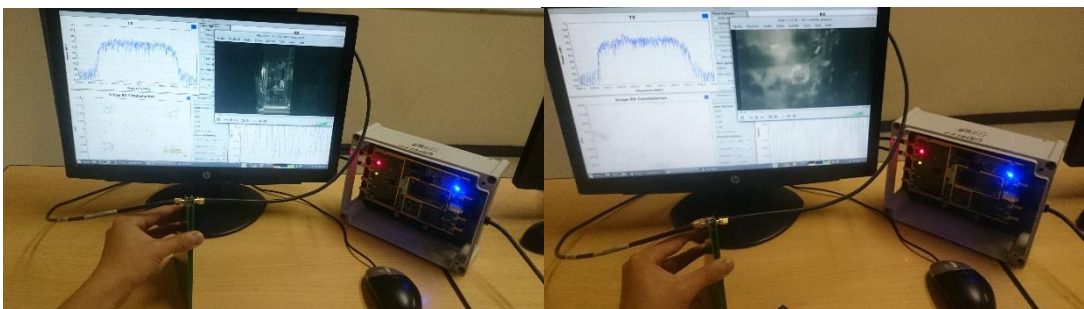
Conexión con Antenas para QPSK a 500 y 600 MHz



Conexión con Antenas para QPSK a 700 y 800 MHz



Conexión con Antenas para QPSK a 900 y 950 MHz



Conexión con Antenas para QPSK a 1 y 1.2 GHz

